

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO TECNOLÓGICO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

FREDERICO FERNANDES NEVES

**CARACTERIZAÇÃO DO CANAL RADIOMÓVEL EM UM AMBIENTE DE
VEGETAÇÃO**

NITERÓI
2009

FREDERICO FERNANDES NEVES

**CARACTERIZAÇÃO DO CANAL RADIOMÓVEL EM UM AMBIENTE DE
VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Orientadora: Prof^ª Leni Joaquim de Matos, DC.

Niterói

2009

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca da Escola de Engenharia e Instituto de Computação da UFF

N513 Neves, Frederico Fernandes.
Caracterização do canal radiomóvel em um ambiente de vegetação
/ Frederico Fernandes Neves. – Niterói, RJ : [s.n.], 2009.
179 f.

Orientador: Leni Joaquim de Matos, DC.
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) -
Universidade Federal Fluminense, 2009.

1. Sistemas de comunicação móvel. 2. Propagação de sinal -
Efeito da vegetação. 3. Estação móvel de rádio. 4. Desvio Doppler.
I. Título.

CDD 621.38456

FREDERICO FERNANDES NEVES

**CARACTERIZAÇÃO DO CANAL RADIOMÓVEL EM UM AMBIENTE DE
VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Telecomunicações da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Sistemas de Telecomunicações.

Aprovada em 13 de março de 2009

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Leni Joaquim de Matos, DC – Orientadora
Universidade Federal Fluminense

Prof. Júlio César Rodrigues Dal Bello, DC
Universidade Federal Fluminense

Prof. Mauro Soares de Assis, Notório Saber
Universidade Federal Fluminense

Prof. Gláucio Lima Siqueira, PhD
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Marta Pudwell Chaves de Almeida, DC
Wings Telecom Ltda

Niterói

2009

À minha família, em especial à pequena Yelenah,
pelas incessantes horas de estudo, pesquisa e
escrita, nas quais estive ausente.

AGRADECIMENTOS

À professora orientadora, Dra. Leni Joaquim de Matos, pela confiança, cooperação, paciência e amizade, sem a qual tal trabalho não seria possível.

Ao professor, PhD Gláucio Lima Siqueira, pelo apoio prestado no Cetuc/PUC, durante as medições.

À minha esposa, Engenheira Elaine da Cunha Cury, pelo apoio, compreensão e dedicação durante a execução dos trabalhos, bem como pela correção das figuras, sugestões de adequação e correção do trabalho.

Aos funcionários da Universidade Federal Fluminense, especialmente aos professores do curso de mestrado, pelo apoio e cooperação prestados.

Aos funcionários da PUC/RJ, pelo apoio prestado durante as medições.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	11
1 INTRODUÇÃO	14
2 TEORIA DE CANAL RADIOMÓVEL	17
2.1 ESPALHAMENTO E MULTIPERCURSOS	17
2.2 CARACTERIZAÇÃO DE CANAIS DETERMINÍSTICOS	21
2.2.1 Função no domínio do tempo	21
2.2.2 Função no domínio da frequência.....	23
2.2.3 Função de frequência ao longo do tempo	24
2.2.4 Função no domínio de Doppler ao longo do retardo	25
2.2.5 Relação entre as funções de sistema	26
2.3 CANAIS ALEATÓRIOS	27
2.3.1 Relação entre as funções de sistema	28
2.4 CANAIS REAIS.....	32
2.4.1 Estacionariedade no sentido amplo.....	32
2.4.2 Espalhadores descorrelacionados.....	34
2.4.3 Canal estacionário no sentido amplo com espalhadores descorrelacionados (WSSUS)	35
2.5 PARÂMETROS DE DISPERSÃO	37
2.5.1 Retardo Médio.....	38
2.5.2 Espalhamento de Retardo (delay spread).....	39
2.5.3 Banda de Coerência	39
2.5.4 Deslocamento Doppler.....	41
2.5.5 Espalhamento Doppler.....	41
2.5.6 Tempo de Coerência.....	42
3 SISTEMA DE SONDAGEM	44
3.1 TÉCNICA DE SONDAGEM STDCC	45
3.2 SONDA STDCC UTILIZADA	50
3.2.1 Faixa Dinâmica.....	50
3.2.2 Resolução de Frequência	50
3.2.3 Resolução de Multipercurso.....	51
3.2.4 Resolução de deslocamento Doppler.....	52
3.2.5 Fator de Escala	53
3.2.6 Sistema de aquisição	54
3.2.7 Sinal de alinhamento (trigger) e alinhamento dos perfis	57
3.2.8 Processamento dos dados adquiridos	62
3.2.9 Controle de deslocamento e informação de distância e velocidade.	67
3.3 TESTES DE LABORATÓRIO	72
4 AMBIENTE DE MEDIÇÕES E TRATAMENTO DOS DADOS.....	74
4.1 AMBIENTE DE MEDIÇÕES.....	75
4.2 TRATAMENTO DOS DADOS.....	79
4.2.1 Técnicas de limpeza dos perfis e identificação dos multipercursos.	80
4.2.2 Aplicação de “janelas”	85
5 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES	87
5.1 RESULTADOS OBTIDOS	88
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	92
6 CONCLUSÕES	97
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
APÊNDICES.....	105
APÊNDICE A: PREPARACAO.M – PROGRAMA PARA ORGANIZAÇÃO E LIMPEZA DOS PERFIS.....	106

APÊNDICE B: <i>PROCESSAMENTO.M</i> – PROGRAMA USADO PARA O PROCESSAMENTO DOS DADOS	
PREPARADOS PELO PROGRAMA <i>PREPARAÇÃO.M</i>.	116
APÊNDICE C: <i>JANELA.M</i> – PROGRAMA USADO PARA O TESTE DE JANELAS A SEREM IMPLEMENTADAS NO	
PROGRAMA <i>PROCESSAMENTO.M</i>.	135
APÊNDICE D: JANELAS E SUA INFLUÊNCIA NOS PERFIS DE RETARDO DE POTÊNCIA	139
APÊNDICE E: INFLUÊNCIA DA JANELA E DA TÉCNICA DE LIMPEZA EMPREGADAS NA DETERMINAÇÃO DOS	
PARÂMETROS DO CANAL RADIOMÓVEL	148

LISTA DE FIGURAS

FIG 2.1 - GEOMETRIA PARA ESPALHAMENTO SIMPLES.....	18
FIG 2.2 - DESLOCAMENTO DOPPLER E COMPRIMENTO DO CAMINHO DE PROPAGAÇÃO	19
FIG 2.3 - MODELO FÍSICO DO CANAL NO DOMÍNIO DO TEMPO.....	22
FIG 2.4 - MODELO FÍSICO DO CANAL NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA	24
FIG 2.5 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DAS FUNÇÕES DE SISTEMA	27
FIG 2.6 - RELAÇÕES ENTRE AS FUNÇÕES DE CORRELAÇÃO DO CANAL.....	31
FIG 2.7 - RELAÇÕES ENTRE AS FUNÇÕES DOS CANAIS WSSUS	36
FIG 3.1 - DIAGRAMA EM BLOCOS DO SISTEMA PARA DETERMINAÇÃO DA RESPOSTA DO CANAL AO IMPULSO	45
FIG 3.2 - PULSO DE CORRELAÇÃO.....	49
FIG 3.3 - PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA COM TAXA DE AMOSTRAGEM DE 50 KSPS.....	55
FIG 3.4 - PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA COM TAXA DE AMOSTRAGEM DE 40 KSPS.....	55
FIG 3.5 - PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA COM TAXA DE AMOSTRAGEM DE 20 KSPS.....	56
FIG 3.6 - INFORMAÇÃO DE <i>TRIGGER</i> COM TAXA DE AMOSTRAGEM DE 50 KSPS.....	57
FIG 3.7 - CIRCUITO DE <i>RESET</i> DO CONTADOR.....	59
FIG 3.8 - DIAGRAMA DE BLOCO DE GERAÇÃO DO PULSO DE <i>TRIGGER</i>	60
FIG 3.9 - PULSO DE <i>TRIGGER</i> GERADO PELO RECEPTOR.....	61
FIG 3.10 - SINAL DE ALINHAMENTO GERADO NO RECEPTOR E AMOSTRADO A TAXA DE 20 KSPS.....	61
FIG 3.11 - ESQUEMA DE INSERÇÃO DE AMOSTRAS E REALINHAMENTO DE PERFIS	63
FIG 3.12 - SINAL DE <i>TRIGGER</i> DO PERFIL N° 805.....	64
FIG 3.13 - SINAL DE <i>TRIGGER</i> DO PERFIL N° 806.....	64
FIG 3.14 - PERFIL N° 805 ANTES DO ALINHAMENTO	65
FIG 3.15 - PERFIL N° 806 ANTES DO ALINHAMENTO	65
FIG 3.16 - PERFIL N° 805 APÓS O ALINHAMENTO.....	66
FIG 3.17 - PERFIL N° 806 APÓS O ALINHAMENTO.....	67
FIG 3.18 - SISTEMA UTILIZADO PARA MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA PERCORRIDA E VELOCIDADE	68
FIG 3.19 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MEDIDOR DE DISTÂNCIA	69
FIG 3.20 - CÁLCULO DAS VELOCIDADES EM FUNÇÃO DOS DADOS DE POSIÇÃO	70
FIG 3.21 - PERFIL DA RODA ANTES DO TRATAMENTO	71
FIG 3.22 - IMAGEM DO ANALISADOR DE ESPECTRO COM O SINAL DE SAÍDA DO SISTEMA.....	73
FIG 4.1 – VISTA DA VEGETAÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO DA ANTENA DO TRANSMISSOR.	74
FIG 4.2 – ANTENA DO RECEPTOR INSTALADA.....	75
FIG 4.3 – CROQUI DO CAMPUS DA PUC / RJ.....	76
FIG 4.4 – VISTA DO PRÉDIO ONDE FOI INSTALADO O TRANSMISSOR.....	77
FIG 4.5 – ROTA DE AFASTAMENTO EM RELAÇÃO AO TRANSMISSOR.	78
FIG 4.6 – ROTA DA APROXIMAÇÃO EM RELAÇÃO AO TRANSMISSOR.....	78
FIG 4.7 – CROQUI DO CAMPUS DA PUC / RJ.....	79
FIG 4.8 – PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA ANTES DAS IDENTIFICAÇÃO E LIMPEZA.	82
FIG 4.9 – PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA N° 810, IDENTIFICADO POR SOUSA E LIMPO.	83
FIG 4.10 – PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA N° 810, IDENTIFICADO POR SOUSA E LIMPO.	83
FIG 4.11 – PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA N° 810, LIMPO POR WDEN.	85
FIG 4.12 – PERFIL DE RETARDO DE POTÊNCIA N° 810, LIMPO POR WDEN.	85
FIG 5.1 – PERFIL DE DOPPLER PARA RETARDO EM 2,5 MICROSSEGUNDOS, NA ROTA PUC1-1A.....	93
FIG 5.2 – PERFIL DE DOPPLER PARA RETARDO EM 2,5 MICROSSEGUNDOS, NA ROTA PUC1-1B.....	93
FIG 5.3 – PERFIL DE DOPPLER PARA RETARDO EM 0,2 MICROSSEGUNDOS, ROTA PUC2.....	94
FIG 5.4 – PERFIL DE DOPPLER PARA RETARDO EM 0,2 MICROSSEGUNDOS, ROTA PUC1-1A.....	95
FIG 5.5 – PERFIL DE DOPPLER PARA RETARDO EM 7,9 MICROSSEGUNDOS, ROTA PUC2.....	95
FIG 5.6 – PERFIL DE DOPPLER PARA RETARDO EM 0,7 MICROSSEGUNDOS, ROTA PUC2.....	96
FIG A.1 – FLUXOGRAMA DE EXECUÇÃO DOS PROGRAMAS	106
FIG D.1 - JANELAS DE BLACKMAN-HARRIS, HAMMING E HANN.	140
FIG D.2 - JANELAS BLACKMAN.....	140
FIG D.3 - JANELAS DE CHEBYSHEV, TURKEY E TRIANGULAR.....	141
FIG D.4 - JANELAS GAUSSINANAS.....	141

FIG D.5 - JANELAS DE KAISER.....	142
FIG D.6 - SINAL COSSENOIDAL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA HAMMING.....	142
FIG D.7 - SINAL COSSENOIDAL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA KAISER.....	143
FIG D.8 - SINAL SENOIDAL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA HAMMING.....	143
FIG D.9 - SINAL SENOIDAL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA KAISER.....	144
FIG D.10 - PICOS DE CORRELAÇÃO ALINHADOS NO INÍCIO DO PERFIL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA HAMMING.....	145
FIG D.11 - PICOS DE CORRELAÇÃO ALINHADOS NO INÍCIO DO PERFIL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA KAISER.....	145
FIG D.12 - PICOS DE CORRELAÇÃO ALINHADOS NO MEIO DO PERFIL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA HAMMING.....	146
FIG D.13 - PICOS DE CORRELAÇÃO ALINHADOS NO INÍCIO DO PERFIL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA KAISER.....	146
FIG D.14 - PICOS DE CORRELAÇÃO ALINHADOS NO FIM DO PERFIL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA HAMMING.....	147
FIG D.15 - PICOS DE CORRELAÇÃO ALINHADOS NO INÍCIO DO PERFIL E SUA RESPECTIVA FFT, USANDO JANELA KAISER.....	147
FIG E.1 – PERFIL Nº 805 DA ROTA PUC1-1A.....	149
FIG E.2 – PERFIL Nº 805 DA ROTA PUC1-1A, TRATADO A TÉCNICA A.....	149
FIG E.3 – PERFIL Nº 805 DA ROTA PUC1-1A, TRATADO USANDO A TÉCNICA B.....	150
FIG E.4 – PERFIL Nº 816 DA ROTA PUC1-1A.....	150
FIG E.5 – PERFIL Nº 816 DA ROTA PUC1-1A, TRATADO USANDO A TÉCNICA A.....	151
FIG E.6 – PERFIL Nº 816 DA ROTA PUC1-1A, TRATADO USANDO A TÉCNICA B.....	151
FIG E.7 – PERFIL Nº 817 DA ROTA PUC1-2A.....	152
FIG E.8 – PERFIL Nº 817 DA ROTA PUC1-2A, TRATADO USANDO A TÉCNICA A.....	152
FIG E.9 – PERFIL Nº 817 DA ROTA PUC1-2A, TRATADO USANDO A TÉCNICA B.....	153
FIG E.10 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC1-1A PARA RETARDO EM 2,5 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA A.....	159
FIG E.11 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC1-1A, PARA RETARDO EM 1,5 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA B.....	160
FIG E.12 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC1-1A, PARA RETARDO EM 1,5 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA A.....	160
FIG E.13 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC1-1A, PARA RETARDO EM 5 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA B.....	161
FIG E.14 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC1-1A, PARA RETARDO EM 5 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA A.....	162
FIG E.15 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC2, PARA RETARDO EM 7,7 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA B.....	162
FIG E.16 – PERFIL DE DOPPLER, NA ROTA PUC2, PARA RETARDO EM 7,7 MICROSSEGUNDOS, USANDO A TÉCNICA A.....	163
FIG E.17 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE KAISER-BESSEL PARA BETA = 7 (TÉCNICA B).....	169
FIG E.18 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE KAISER-BESSEL PARA BETA = 9 (TÉCNICA B).....	169
FIG E.19 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE KAISER-BESSEL PARA BETA = 11 (TÉCNICA B).....	170
FIG E.20 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE BLACKMANHARRIS (TÉCNICA B).....	170
FIG E.21 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA HANNING (TÉCNICA B).....	171
FIG E.22 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE KAISER-BESSEL PARA BETA = 7 (TÉCNICA A).....	171
FIG E.23 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE KAISER-BESSEL PARA BETA = 9 (TÉCNICA A).....	172
FIG E.24 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE KAISER-BESSEL PARA BETA = 11 (TÉCNICA A).....	172
FIG E.25 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA DE BLACKMANHARRIS (TÉCNICA A).....	173
FIG E.26 – PERFIL DE DOPPLER USANDO FILTRO DE JANELA HANNING (TÉCNICA A).....	173

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE SONDAGEM	47
TABELA 5.1 – TABELA COM OS PARÂMETROS DO CANAL USANDO WDen PARA LIMPEZA DOS PERFIS	89
TABELA 5.2 – TABELA COM OS PARÂMETROS DO CANAL USANDO WDen PARA LIMPEZA DOS PERFIS	91
TABELA 6.1 – TABELA COMPARATIVA.....	99
TABELA A.1 – TABELA COM A RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS E SEUS SIGNIFICADOS	115
TABELA B.1 – TABELA COM A RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS E SEUS SIGNIFICADOS	134
TABELA C.1 – TABELA COM A RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS E SEUS SIGNIFICADOS	138
TABELA E.1 – PARÂMETROS DE DISPERSÃO TEMPORAIS OBTIDOS COM O EMPREGO DA TÉCNICA A	154
TABELA E.2 – COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DISPERSÃO TEMPORAIS OBTIDOS COM AS TÉCNICAS A E B	155
TABELA E.3 – PARÂMETROS DE DISPERSÃO NA FREQUÊNCIA OBTIDOS COM O EMPREGO DA TÉCNICA A	157
TABELA E.4 – COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DISPERSÃO NA FREQUÊNCIA OBTIDOS COM AS TÉCNICAS A E B	158
TABELA E.5 – PARÂMETROS OBTIDOS COM DIFERENTES JANELAS E TÉCNICA B DE LIMPEZA DE RUÍDO	166
TABELA E.6 – PARÂMETROS OBTIDOS COM DIFERENTES JANELAS E TÉCNICA A DE LIMPEZA DE RUÍDO	168
TABELA E.7 – SUBROTAS E PARÂMETROS TEMPORAIS OBTIDOS COM O EMPREGO DA TÉCNICA B	175
TABELA E.8 – SUBROTAS E PARÂMETROS NA FREQUÊNCIA OBTIDOS COM O EMPREGO DA TÉCNICA B.....	176
TABELA E.9 – SUBROTAS E PARÂMETROS TEMPORAIS OBTIDOS COM O EMPREGO DA TÉCNICA A	177
TABELA E.10 – SUBROTAS E PARÂMETROS NA FREQUÊNCIA OBTIDOS COM O EMPREGO DA TÉCNICA A.....	178

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURA	INGLÊS	PORTUGUÊS
BW	Band Width	Largura de Banda
DAQ	Data Acquisition	Aquisição de Dados (ADQ)
EPLD	Electric Programmable Logic Device	Dispositivo Lógico Programável Eletricamente
LOS	Line of Sight	Linha de Visada
NLOS	Non Line of Sight	Sem Linha de Visada
PN	Pseudo Noise	Pseudo Ruído
RF	Radio Frequency	Frequência de Rádio
RX	Receiver	Receptor
STDCC	Swept Time Delay Cross Correlation	Correlação cruzada por varredura de tempo de retardo
TX	Transmitter	Transmissor
US	Uncorrelated Scattering	Espalhamento Descorrelacionado
WSS	Wide-Sense Stationary	Estacionário no sentido amplo
WSSUS	Wide-Sense Stationary Uncorrelated	Estacionário no Sentido Amplo com Espalhamento Descorrelacionado

RESUMO

Através de sondagem faixa-larga no domínio do tempo em um ambiente de vegetação e construções, perfis de retardo de potência foram obtidos através da utilização de uma sonda STDCC e os dados foram adquiridos e processados de forma a se obter os parâmetros de dispersão temporal (retardo médio, retardo eficaz e banda de coerência) e na frequência (deslocamento Doppler, espalhamento Doppler e tempo de coerência) do canal radiomóvel em estudo. O tratamento realizado nos perfis de forma a limpá-los do ruído, as técnicas de limpeza utilizadas e o emprego de janelas são discutidos e comparações são realizadas.

Palavras-chave: Sistemas de comunicação móvel. Propagação de sinal – Efeito da vegetação. Estação móvel de rádio. Desvio Doppler.

ABSTRACT

Power delay profiles were obtained through the wideband sounding in the time domain with a STDCC sounder in a vegetated environment with buildings. So, the data acquired were processed in such way that the time (mean delay, delay spread and coherence bandwidth) and frequency (Doppler shift, Doppler spread and coherence time) dispersion parameters were calculated for that channel. The treatment carried out on the profiles, cleaning techniques and the usage of windows are discussed, and comparisons are made.

Keywords: Mobile communication system. Signal propagation – Effects of vegetation. Mobile radio station. Doppler shift.

1 INTRODUÇÃO

Marconi, em 1895, deu início à comunicação radiomóvel, estabelecendo um enlace rádio entre uma estação base, situada em terra e um rebocador situado a 18 milhas, no mar. Posteriormente, ocorreu um aumento gradativo da comunicação móvel, inicialmente empregada nos serviços de segurança pública e posteriormente no setor privado de telecomunicações.

Com o desenvolvimento da tecnologia, inicialmente os sistemas foram destinados à telefonia fixa comutada e, após a década de 70, com os testes dos primeiros sistemas móveis celulares de primeira geração, novas faixas de frequência foram alocadas.

Com o advento dos sistemas celulares digitais, de segunda geração, vieram a ser empregadas as técnicas de acesso TDMA e CDMA. A partir da década de 90, com a popularização da *internet*, o mercado começou a oferecer acesso para transmissão de dados aos usuários.

Com a privatização das telecomunicações no Brasil, no fim da década de 90, novas tecnologias de acesso foram implantadas (tecnologias estas já desenvolvidas e utilizadas em outros países), proporcionando o acesso à *internet* através de banda larga, tanto na telefonia fixa quanto na móvel. Com a implantação recente da tecnologia 3G de comunicação móvel, pode-se oferecer largura de banda de transmissão cada vez maior, resultando em maior capacidade e velocidade de acesso ao usuário, conciliando transmissão de voz e dados, consequentemente, torna-se necessário o conhecimento aprofundado do canal por onde o sinal irá se propagar, já que o mesmo é variável.

A propagação de um sinal em um canal radiomóvel ocorre, principalmente, através de multipercursos entre o transmissor e o receptor causando flutuações aleatórias na amplitude, diferentes fases e ângulos de chegada do sinal, gerando o desvanecimento de multipercurso. A ocorrência de tais multipercursos implica em espalhamento temporal do sinal transmitido. Um espalhamento na frequência, conhecido como Doppler, também aparece se existe um movimento relativo entre o transmissor e o receptor. Assim, cada canal radiomóvel tem seus próprios parâmetros de dispersão, sendo necessária a determinação dos valores para o retardo (médio e eficaz), banda de coerência, deslocamento Doppler (médio e eficaz) e tempo de coerência, para melhor caracterizá-lo. Esses parâmetros variam em relação aos elementos que compõem cada canal, todavia todos são consideravelmente afetados pela presença de espalhadores dentro de cada ambiente.

Diversos autores realizaram medições para determinar os parâmetros de dispersão em ambientes *indoor* [14], [15], e em ambientes *outdoor* [13], [16], [17], [18] e [19], contudo pouco se tem a respeito dos mesmos em ambiente de vegetação [20] e [21]. Matos [1] realizou vários testes de canal radiomóvel no Jardim Botânico do Rio de Janeiro e alguns no campus da PUC/RJ, este contendo vegetação e construções. Algumas rotas da PUC, entretanto, não puderam ser devidamente caracterizadas e o objetivo deste trabalho é determinar os parâmetros das mesmas e compará-los com os parâmetros obtidos em [1]. Para isso é avaliada a implementação do pulso de *trigger* para identificação dos perfis e um comparativo entre a utilização da técnica empregada por Sousa [2] e *Wavelet Based Denoising* (WDen) [3] para a limpeza dos perfis de retardo de potência, assim como os filtros de janela usados na aplicação da transformada de Fourier para a obtenção dos perfis de Doppler.

O capítulo 2 tratará da caracterização do canal radiomóvel e das definições dos principais parâmetros de dispersão, discutindo sobre sua importância nos projetos de sistemas móveis. As ferramentas matemáticas e as condições para as suas aplicações serão relacionadas e um resumo de parte da teoria sobre canais radiomóveis será apresentado.

O capítulo 3 será dedicado à descrição do sistema de sondagem, com ênfase no que foi acrescentado, e as modificações realizadas em relação ao sistema originalmente utilizado por Matos [1]. A descrição do processo de aquisição e o do processamento das amostras obtidas será explanado.

No capítulo 4 serão definidos o ambiente de medidas e as técnicas utilizadas no tratamento dos dados.

No capítulo 5 serão apresentados e analisados os principais resultados encontrados para os parâmetros de dispersão.

O capítulo 6 conclui o trabalho, indicando rumos para a continuidade do mesmo.

2 TEORIA DE CANAL RADIOMÓVEL

A característica de transferência do canal radiomóvel varia de acordo com o ambiente e a faixa de frequência empregada. A propagação rádio, tanto em ambientes *indoor* quanto em *outdoor*, é dependente dos diferentes objetos existentes entre o transmissor e o receptor, objetos estes responsáveis pelos fenômenos de refração, reflexão e difração do sinal rádio transmitido, além de provocar o fenômeno do desvanecimento (*fading*) pela propagação multipercurso. Estes fenômenos afetam diretamente a qualidade do sinal, provocando a degradação do mesmo, o que determina principalmente as limitações na taxa de transmissão dos dados. Assim, uma correta caracterização do canal conduz à otimização do sistema rádio tanto nas taxas de transmissão suportadas, quanto no emprego de diversidade e de equalizadores, dentre outros.

2.1 ESPALHAMENTO E MULTIPERCURSOS

Para largura de banda suficientemente pequena [4], todas as frequências componentes do sinal transmitido se comportam similarmente quanto aos efeitos causados pela existência de multipercursos. Isto resulta, aparentemente, em um desvanecimento plano. Com o aumento da largura de banda, ocorre uma maior separação das frequências componentes e, conseqüentemente, um comportamento descorrelatado entre elas. A extensão da descorrelação depende do espalhamento de retardo do sinal. Para grandes retardos a fase das componentes que chegam pode variar

de alguns radianos, mesmo para frequências bem próximas. Neste caso, tem-se o desvanecimento seletivo.

Considerando o movimento do transmissor ou receptor, o comprimento do caminho individual de propagação percorrido pelo sinal transmitido varia com o tempo. É possível associar para um determinado número distinto de espalhadores, os respectivos caminhos de propagação individuais, todavia não é possível distinguir entre diferentes caminhos meramente considerando a diferença entre os tempos de chegada do sinal, sendo necessário utilizar a direção espacial de chegada.

Uma maneira de se localizar os espalhadores físicos é baseada em um modelo de espalhadores simples, localizados ao redor de um caminho a ser percorrido pelo transmissor ou receptor. Para o modelo bidimensional, os espalhadores físicos encontram-se localizados em elipses de retardos (τ) ao redor do transmissor e do receptor, estes localizados em seu foco. A ilustração do modelo é mostrada na Figura 2.1.

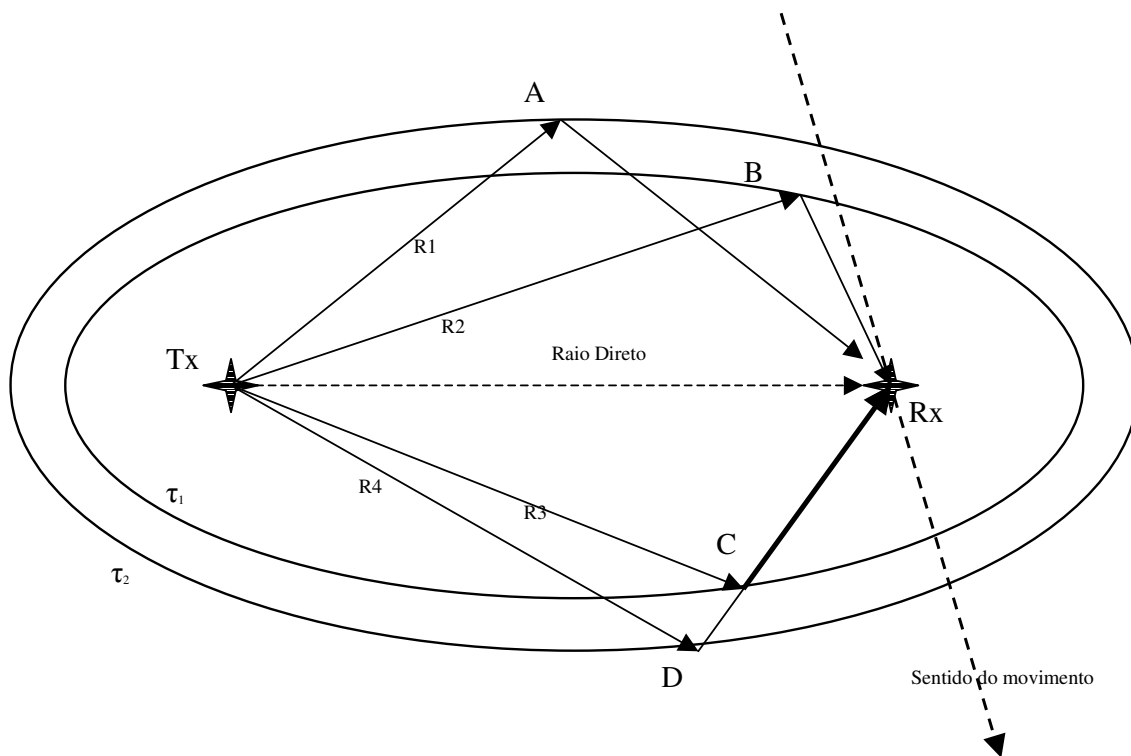


Fig 2.1 - Geometria para espalhamento simples

Os raios R1, R2, R3 e R4 refletidos nos quatros espalhadores A, B, C e D chegam ao receptor Rx em tempos e ângulos diversos. Os Raios R1 e R2, proveniente dos espalhadores A e B, chegam ao receptor Rx com diferentes tempos de retardos (τ_1 e τ_2) e diferentes ângulos de chegada. Os Raios R2 e R3 chegam ao receptor provenientes da mesma elipse de retardos τ_1 , portanto no mesmo instante, todavia possuem ângulos de chegada distintos. Os Raios R3 e R4 (proveniente do espalhador D) chegam ao receptor com os mesmos ângulos de chegada, mas com diferentes tempos de retardos (τ_1 e τ_2).

Os ângulos de chegada podem ser determinados pelo deslocamento Doppler, efeito que o sinal transmitido sofre, quando existe movimento relativo entre o transmissor e o receptor. Se for transmitido um pulso de radio-frequência curto, e forem medidos o tempo de chegada e o deslocamento Doppler no receptor, pode-se identificar o comprimento do caminho de propagação e o ângulo de chegada.

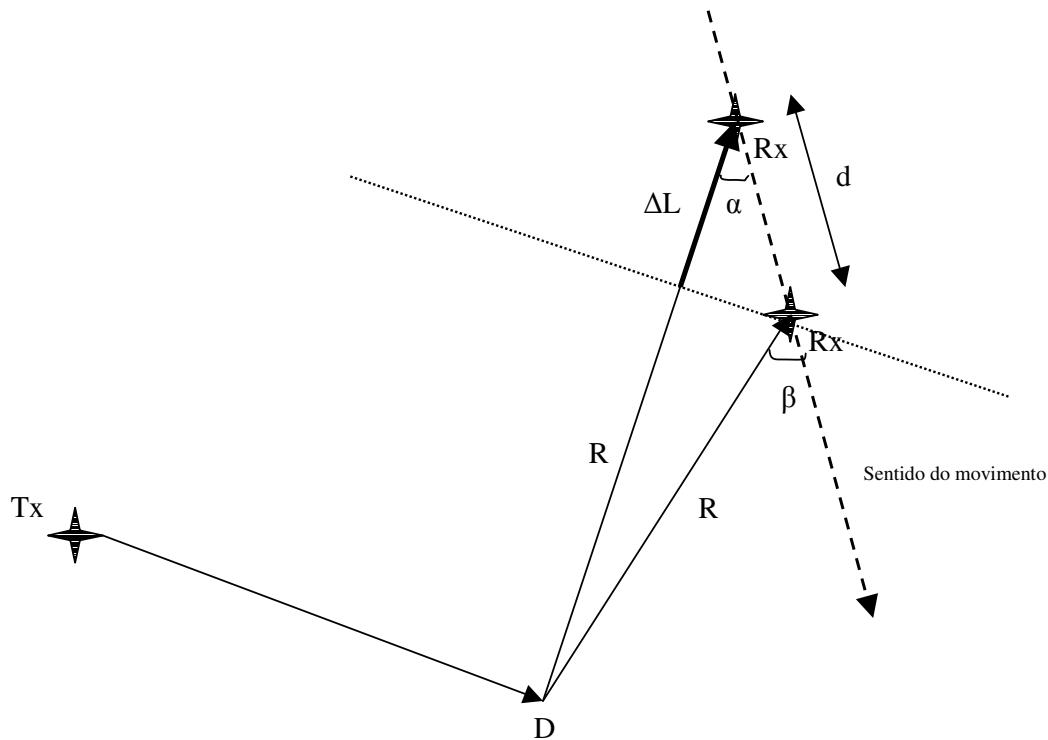


Fig 2.2 - Deslocamento Doppler e comprimento do caminho de propagação

Com o deslocamento do receptor na Figura 2.2, tem-se o pulso de radio-frequência que percorre o caminho $R + \Delta L$, incidente no primeiro instante de tempo com ângulo de chegada α e, após o receptor ter percorrido a distância d , tem-se o pulso de radio-frequência que percorre o caminho R incidente em um segundo instante de tempo com ângulo de chegada β . Para grandes valores de R os ângulos de chegada α e β podem ser considerados idênticos, restando apenas a diferença entre os percursos ΔL , desta forma

$$\Delta L = d \cdot \cos(\alpha) \quad (2.1)$$

Para a variação de fase entre as componentes de multipercurso, tem-se:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L \quad (2.2)$$

Considerando que a velocidade seja constante, $d = v \cdot t$, e obtém-se

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot v \cdot \Delta t \cdot \cos(\alpha) \quad (2.3)$$

Logo:

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot v \cdot \cos(\alpha) \quad (2.4)$$

O que resulta na expressão para o deslocamento Doppler

$$f = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos(\alpha) \quad (2.5)$$

Na equação (2.5), v é a velocidade do receptor em relação ao transmissor e λ é o comprimento de onda, relativo à frequência da portadora. A taxa de variação temporal da fase, na equação (2.4), é relacionada diretamente a um deslocamento de frequência cujo valor máximo é v/λ , variando positivamente em situações onde os raios recebidos chegam pela frente do receptor ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$) e negativamente, quando os raios chegam por trás ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$). Existe ambigüidade direita/esquerda inerente ao deslocamento Doppler, que só pode ser resolvida utilizando antena direcional. Essa ambigüidade pode ser vista colocando os espalhadores B e C, simetricamente localizados em relação ao Raio Direto na Figura 2.1, onde os Raios R2 e R3 apresentariam o mesmo ângulo de chegada em valores absolutos e o mesmo retardo de tempo τ . Vale lembrar que o desenvolvimento acima trabalhou com um modelo bidimensional, para facilidade de compreensão do fenômeno.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE CANAIS DETERMINÍSTICOS

O canal rádio móvel pode ser imaginado como um sistema que se comporta como um filtro linear com resposta impulsiva deterministicamente variável ao longo do tempo. As entradas e saídas de um filtro linear podem ser descritas ambas nos domínios da frequência ou de tempo, o que acarreta em quatro possíveis formas para descrever a característica de transferência do canal.

2.2.1 Função no domínio do tempo

Baseado em Bello [5], é conveniente representar o sinal real por seu envelope complexo que pode se relacionar por:

$$x(t) = \text{Re}[z(t)\exp\{j2\pi f_c t\}] \quad (2.6)$$

onde $\text{Re}[\cdot]$ é a parte real da função complexa e $z(t)$, é o envelope complexo de $x(t)$, entrada do canal, sendo f_c a frequência nominal da portadora. A descrição de uma função linear no domínio do tempo é obtida pela resposta impulsiva do sistema, em um instante de tempo t , devido à excitação impulsional aplicada há τ segundos. Assim, a aplicação do princípio da superposição expressa a saída do sistema no domínio do

tempo, para um sinal de entrada conhecido. Se o envelope complexo da resposta ao impulso do canal, ao longo do tempo, é dada por $h(t; \tau)$, função chamada de função espalhamento de retardo de entrada, onde τ é a variável de retardo, então o envelope complexo do filtro de saída $w(t)$ é relacionado ao envelope complexo do envelope de entrada $z(t)$, por convolução:

$$w(t) = h(t; \tau) * z(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} z(t - \tau) h(t; \tau) d\tau \quad (2.7)$$

A função $h(t; \tau)$ da equação (2.7) representa o canal como uma soma contínua de espalhadores relacionados, na qual cada espalhador elementar é responsável por retardos na faixa $(\tau, \tau + d\tau)$ e apresenta uma flutuação de ganho representada por $h(t, \tau) d\tau$. Matematicamente, pode ser representada pela equação (2.8) e, fisicamente, por um filtro transversal de linha de retardo, mostrado na Figura 2.3.

$$w(t) = \Delta\tau \sum_{m=1}^n z(t - m\Delta\tau) h(t; m\Delta\tau) \quad (2.8)$$

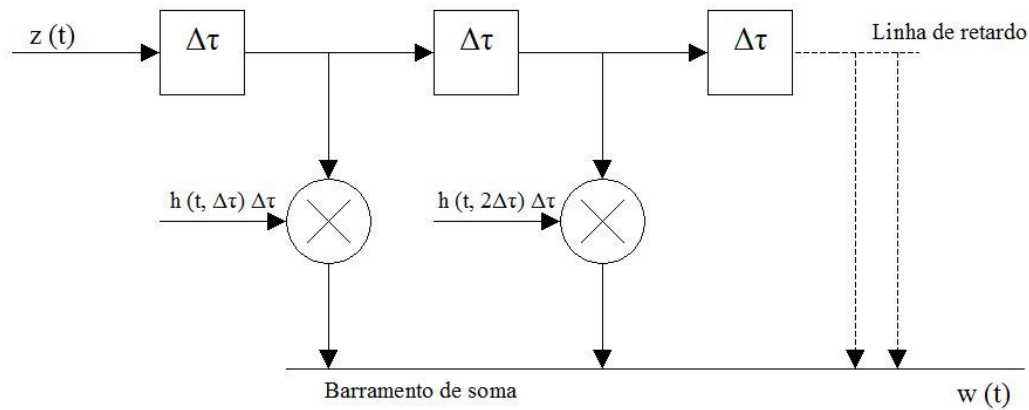


Fig 2.3 - Modelo físico do canal no domínio do tempo

2.2.2 Função no domínio da frequência

A caracterização do canal também pode se expressa na frequência, através do uso de uma função dual à função espalhamento de retardo de entrada. O deslocamento Doppler, embutido na envoltória complexa de $h(t;\tau)$, pode ser levado, por transformada dupla de Fourier, respectivamente no tempo e retardo, a uma função $H(v;f)$, de deslocamento Doppler e frequência.

A função $H(v;f)$, chamada de função de espalhamento Doppler de entrada, relaciona o espectro de saída do canal ao espectro de entrada, de maneira idêntica à forma que $h(t;\tau)$ relaciona as funções de tempo de entrada e saída.

Resumidamente, tem-se a função $h(t;\tau)$, no domínio do tempo/retardos, como a função de transferência do canal no espalhamento temporal do sinal de entrada e $H(v;f)$, no domínio da frequência/deslocamento Doppler, como a função de transferência do canal representando o espalhamento na frequência.

Assim, as características de transmissão são descritas em termos da frequência e das variáveis de deslocamento de frequência, fornecem para a relação de entrada e saída:

$$W(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} Z(f - v)H(v; f - v)dv \quad (2.9)$$

Uma aproximação de um modelo físico em forma de cadeia de conversão de frequência, conforme modelo da Figura 2.4, é dada por:

$$W(f) = \Delta v \sum_{m=1}^n Z(f - m\Delta v)H(m\Delta v; f - m\Delta v) \quad (2.10)$$

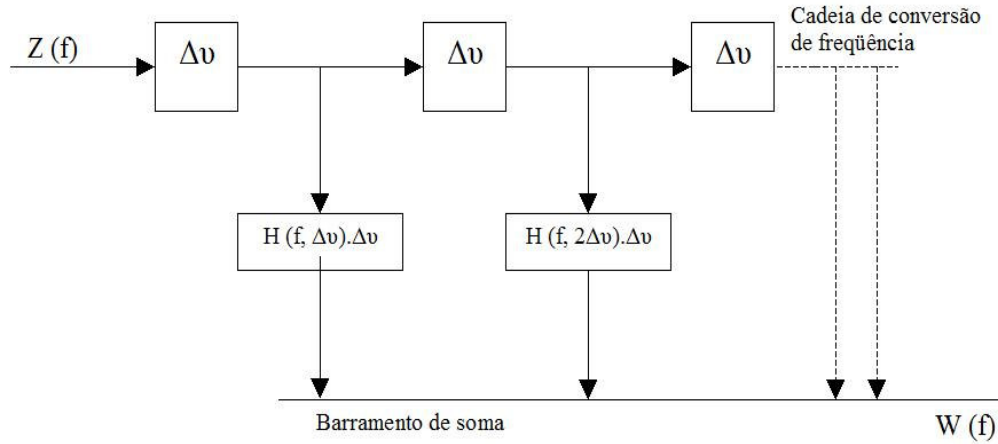


Fig 2.4 - Modelo físico do canal no domínio da frequência

2.2.3 Função de frequência ao longo do tempo

Como a caracterização em termos da função espalhamento Doppler de entrada $H(v;f)$ relaciona o espectro de saída ao espectro de entrada, outra caracterização é possível se a função temporal de saída for expressa em termos do espectro de entrada do canal de filtro equivalente. Esta função é conhecida como função de transferência, $T(t;f)$, e descreve a variação do canal na frequência, ao longo do tempo:

$$w(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} Z(f) T(t; f) \exp\{j2\pi ft\} df \quad (2.11)$$

Assim, a equação (2.11) representa a função de transferência do canal, no domínio da frequência/tempo, e expressa a envoltória complexa do sinal na saída, em termos do sinal de entrada. Conforme a equação (2.12), a função de transferência ao longo do tempo, $T(t;f)$, é a transformada de Fourier, no domínio do retardo da função $h(t;\tau)$ e também pode ser obtida através da transformada inversa de Fourier da função de espalhamento Doppler de saída.

$$T(f;t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t;\tau) \exp\{-j2\pi f\tau\} d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} H(v;f) \exp\{j2\pi v\tau\} dv \quad (2.12)$$

2.2.4 Função no domínio de Doppler ao longo do retardo

Segundo Bello [5], todo canal linear variável no tempo pode ser representado como um contínuo de espalhadores estacionários através da função de espalhamento no retardo ou como um conjunto de filtros e elementos de deslocadores Doppler de saída. Estas duas funções provêem uma descrição explícita para somente um aspecto do comportamento dispersivo do canal, deslocamento Doppler ou retardo de tempo. A função de transferência no domínio do retardo/espalhamento Doppler $S(v;\tau)$ é obtida pela transformada de Fourier, no domínio do tempo, da função espalhamento de retardo de entrada, e expressa o envelope complexo do sinal na saída em termos do espectro e relaciona a dispersão temporal do canal relativo ao deslocamento de frequência v , causado por um espalhador com retardo τ .

Como:

$$h(t;\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(v;\tau) \exp\{j2\pi v\tau\} dv \quad (2.13)$$

Substituindo a equação (2.13) na equação (2.7)

$$w(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(t-\tau) S(v;\tau) \exp\{j2\pi v\tau\} dv d\tau \quad (2.14)$$

A equação (2.14) mostra que a saída $w(t)$ é representada como a soma de retardos e sinais deslocados Doppler. Os sinais correspondem a retardos na faixa $(\tau, \tau+d\tau)$ e o deslocamento Doppler na faixa $(v, v+dv)$ tem uma amplitude de espalhamento diferencial $S(v;\tau)dv d\tau$. A função de espalhamento Doppler ao longo do

retardo $S(v;\tau)$ descreve explicitamente o comportamento dispersivo do canal em termos do tempo de retardo e do deslocamento Doppler.

2.2.5 Relação entre as funções de sistema

As quatro funções que caracterizam o canal: função espalhamento de retardo de entrada $h(t;\tau)$, função de espalhamento Doppler de entrada $H(v;f)$, função de transferência do canal no domínio frequência/tempo $T(t;f)$ e função de transferência do canal no domínio retardo/deslocamento Doppler $S(v;\tau)$ podem ser organizadas conforme abaixo e representadas graficamente conforme a Figura 2.5

$$S(v;\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t;\tau) \exp\{-j2\pi v t\} dt \quad (2.15)$$

$$T(t;f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t;\tau) \exp\{-j2\pi f \tau\} d\tau \quad (2.16)$$

$$H(v;f) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(v;\tau) \exp\{-j2\pi f \tau\} d\tau \quad (2.17)$$

$$H(v;f) = \int_{-\infty}^{+\infty} T(t;f) \exp\{-j2\pi v t\} dt \quad (2.18)$$

Tomando-se a função espalhamento de retardo de entrada $h(t;\tau)$ como a transformada inversa de $S(v;\tau)$, tem-se:

$$h(t;\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(v;\tau) \exp\{j2\pi v t\} dv \quad (2.19)$$

e substituindo na equação (2.7), obtém-se

$$w(t) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} z(t-\tau)S(v,\tau)\exp\{j2\pi v\tau\}dv d\tau \quad (2.20)$$

onde a saída $w(t)$ é a soma de sinais de entrada $z(t)$ retardados aleatoriamente e atenuados por $S(v;\tau)$.

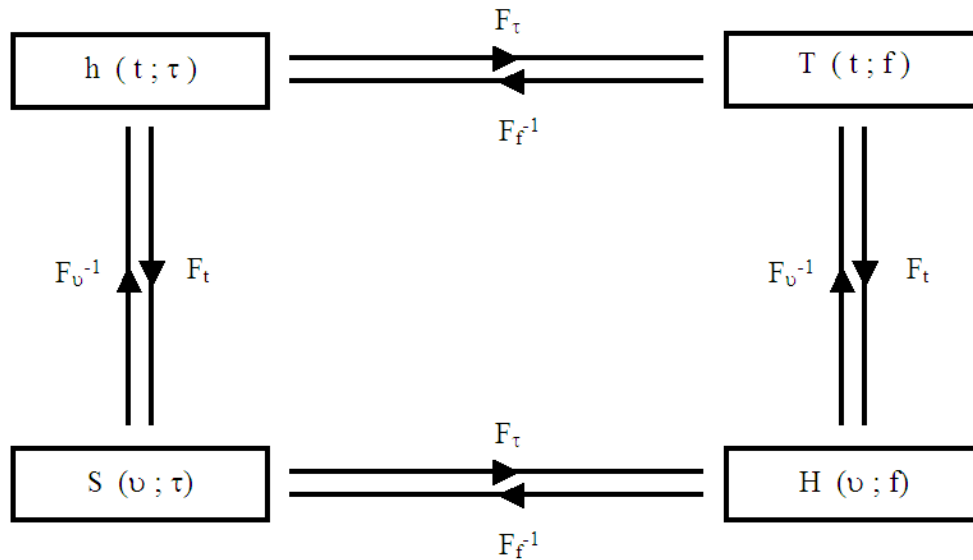


Fig 2.5 - Diagrama esquemático das funções de sistema

2.3 CANAIS ALEATÓRIOS

O canal rádio móvel funciona como um sistema aleatoriamente variável no tempo, onde as funções do sistema passam a se comportar como processos estocásticos e são descritas pelas funções densidade de probabilidade conjunta multidimensional das variáveis envolvidas, para que possam ser completamente caracterizadas. É possível trabalhar de uma forma aproximada com as funções correlação das funções do sistema, obtendo-se as funções correlação do sinal de saída a partir do sinal de entrada conhecido. Se a saída é um processo Gaussiano, a descrição em termos da média e da função de correlação é estatisticamente completa.

2.3.1 Relação entre as funções de sistema

Seja $R_z(t,s)$ a função de correlação do sinal de saída, onde τ e ξ são retardos associados aos instantes de tempo t e s , respectivamente. Neste caso:

$$R_z(t,s) = E[z(t).z^*(s)] \quad (2.21)$$

onde $E[\bullet]$ é o valor esperado do produto da saída num instante t e o complexo conjugado da saída em um instante s .

Definindo τ e ξ como variáveis associadas ao domínio do tempo e ν e μ como variáveis associadas ao domínio da frequência, as funções correlação associadas às funções de sistema são descritas por:

$$E[h(t;\tau)h^*(s;\xi)] = R_h(t,s;\tau,\xi) \quad (2.22)$$

$$E[H(\nu;f)H^*(\mu;l)] = R_H(\nu,\mu;f,l) \quad (2.23)$$

$$E[T(t;f)T^*(l;s)] = R_T(t,l;f,s) \quad (2.24)$$

$$E[S(\nu;\tau)S^*(\xi;\mu)] = R_S(\nu,\xi;\tau,\mu) \quad (2.25)$$

Através das relações de entrada e saída dos canais definidas nas equações acima, é possível determinar a relação entre as funções correlação de saída e as funções correlação das funções de sistema. Utilizando a equação (2.7), a função de correlação de saída do canal pode ser escrita como:

$$R_w(t, s) = [E[w(t)w^*(s)]] = E\left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(t-\tau)z^*(s-\xi)h(t;\tau)h^*(s;\xi)d\tau d\xi\right] \quad (2.26)$$

$$R_w(t, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(t-\tau)z^*(s-\xi)E[h(t;\tau)h^*(s;\xi)]d\tau d\xi \quad (2.27)$$

já que z é um sinal determinístico.

O termo $E[h(t;\tau)h^*(s;\xi)]$ é a função de correlação da função de espalhamento de retardo de entrada, logo:

$$R_w(t, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(t-\tau)z^*(s-\xi)R_h(t, s; \tau, \xi)d\tau d\xi \quad (2.28)$$

Analogamente, obtém-se as demais funções correlação:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_w(\tau, \xi) = [E[w(\tau)w^*(\xi)]] \quad (2.29) \\ R_w(\tau, \xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(\tau-\nu)z^*(\xi-\mu)E[S(\nu;\tau)S^*(\xi;\mu)]d\nu d\mu \quad (2.30) \\ R_w(\tau, \xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(\tau-\nu)z^*(\xi-\mu)R_s(\nu, \xi; \tau, \mu)d\nu d\mu \quad (2.31) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_w(v, \mu) = [E[w(v)w^*(\mu)]] \quad (2.32) \\ R_w(v, \mu) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(v-f)z^*(\mu-l)E[H(v,f)H^*(\mu,l)]dfdl \quad (2.33) \\ R_w(v, \mu) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(v-f)z^*(\mu-l)R_H(v, \mu; f, l)dfdl \quad (2.34) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_w(f, l) = [E[w(f)w^*(l)]] \quad (2.35) \\ R_w(f, l) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(f-t)z^*(l-s)E[T(t,f)T^*(l;s)]dtds \quad (2.36) \\ R_w(f, l) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} z(f-t)z^*(l-s)R_T(t, l; f, s)dtds \quad (2.37) \end{array} \right.$$

Nas equações de (2.26) a (2.37) as variáveis (v, μ) são deslocamentos Doppler associados aos tempos (t, s) e as variáveis (f, l) são frequências associadas aos retardos (τ, ξ) , respectivamente. As relações entre as funções são descritas abaixo:

$$R_s(v, \xi; \tau, \mu) = F_{t,s} \{R_h(t, s; \tau, \xi)\} \quad (2.38)$$

$$R_T(t, l; f, s) = F_{\tau, \xi} \{ R_h(t, s; \tau, \xi) \} \quad (2.39)$$

$$R_H(v, \mu; f, l) = \begin{cases} F_{\tau, \xi} \{ R_S(v, \xi; \tau, \mu) \} \\ ou \\ F_{t, s} \{ R_T(t, l; f, s) \} \end{cases} \quad (2.40)$$

$$F_{t, s} \{ R_T(t, l; f, s) \} \quad (2.41)$$

e podem ser organizadas e representadas graficamente conforme a Figura 2.6

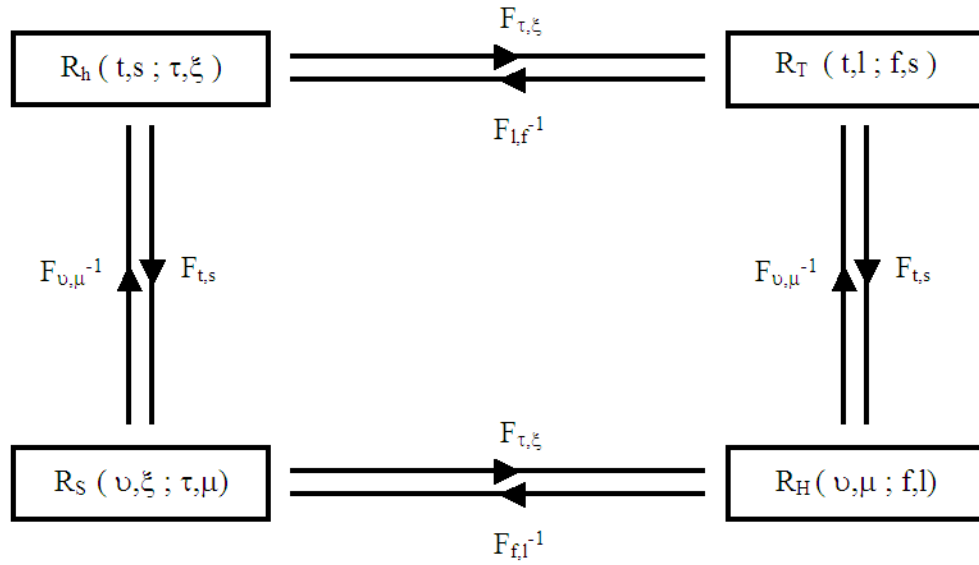


Fig 2.6 - Relações entre as Funções de Correlação do Canal

2.4 CANAIS REAIS

Neste item será abordado o canal WSSUS (*Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering*), realizando as devidas simplificações considerando estacionariedade no sentido amplo – WSS (*Wide-Sense Stationary*) e espalhadores descorrelacionados – US (*Uncorrelated Scatterers*), com o intuito de se obter um modelo matemático mais simples.

2.4.1 Estacionariedade no sentido amplo

Um canal com estacionariedade no sentido amplo, também conhecida como WSS, apresenta estatística de desvanecimento que não se altera em intervalos curtos de tempo e distâncias curtas. Segundo Parsons [4] são canais não necessariamente estacionários no sentido estrito e que podem ser categorizados estacionários no sentido amplo ou fracamente estacionários.

Como as estatísticas de desvanecimento não mudam em curtos intervalos de tempo η , isto significa que a função de correlação para o canal depende das variáveis t e s , onde $\eta = s - t$.

Dessa forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_h(t, t + \eta; \tau, \xi) = R_h(\eta; \tau, \xi) \\ R_T(f, l; t + \eta) = R_T(f, l; \eta) \end{array} \right. \quad (2.42)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_h(t, t + \eta; \tau, \xi) = R_h(\eta; \tau, \xi) \\ R_T(f, l; t + \eta) = R_T(f, l; \eta) \end{array} \right. \quad (2.43)$$

Usando as relações das transformadas de Fourier da Figura 2.6, a função de correlação da função de transferência do canal no domínio retardo/deslocamento Doppler $S(v; \tau)$, em termos da função de correlação da função espalhamento de retardo de entrada $h(t, \tau)$ é dada por

$$R_s(v, \xi; \tau, \mu) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R_h(t, s; \tau, \xi) \exp\{j2\pi(vt - \mu s)\} dt ds \quad (2.44)$$

Substituindo a equação (2.42) na equação (2.44), obtém-se:

$$R_s(v, \xi; \tau, \mu) = \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{j2\pi(v - \mu)t\} dt \int_{-\infty}^{\infty} R_h(\eta; \tau, \xi) \exp\{-j2\pi\mu\eta\} d\eta \quad (2.45)$$

A primeira integral na equação (2.45) é um impulso unitário, em $v = \mu$, e a segunda integral pode ser expressa em função da densidade espectral de potência $P_s(\mu; \tau, \xi)$, já que $P_s(\mu; \tau, \xi)$ é a transformada de Fourier de $R_h(\eta; \tau, \xi)$ em relação a η , ou seja:

$$P_s(\mu; \tau, \xi) = \int_{-\infty}^{\infty} R_h(\eta; \tau, \xi) \exp\{-j2\pi\mu\eta\} d\eta \quad (2.46)$$

o que reduz a equação (2.45) a:

$$R_s(v, \xi; \tau, \mu) = \delta(v - \mu) P_s(\mu; \tau, \xi) \quad (2.47)$$

De maneira similar pode ser mostrado que

$$R_H(v, \mu; f, l) = \delta(v - \mu) P_H(f, l; \mu) \quad (2.48)$$

onde $P_H(f, l; \mu)$ é a transformada de Fourier de $R_T(f, l; \eta)$ em relação a η , ou seja:

$$P_H(f, l; \mu) = \int_{-\infty}^{\infty} R_T(f, l; \eta) \exp\{-j2\pi\mu\eta\} d\eta \quad (2.49)$$

Em termos de representação de modelos de circuitos, o comportamento singular de $R_s(v, \xi; \tau, \mu)$ e $R_h(v, \mu; f, l)$ implica que as funções de transferência de filtros aleatórios, associados com diferentes deslocadores Doppler, são descorrelatadas.

2.4.2 Espalhadores descorrelacionados

Considerando que os espalhadores dentro de um canal são descorrelacionados, considera-se que suas contribuições com diferentes caminhos são descorrelatadas. Por analogia, as funções de correlação são expressas em termos de funções impulso no domínio tempo/retardo.

$$\left\{ \begin{array}{l} R_h(t, s; \tau, \xi) = \delta(\tau - \xi) P_h(\eta; \xi) \quad (2.50) \\ R_s(v, \xi; \tau, \mu) = \delta(\tau - \xi) P_s(v, \mu; \xi) \quad (2.51) \end{array} \right.$$

onde ocorre a descorrelação entre os retardos τ e ξ , uma vez que os impulsos nas equações (2.50) e (2.51) existem somente quando $\tau = \xi$.

Substituindo a equação (2.50) na função densidade de potência $P_s(\mu; \tau, \xi)$, representada na equação (2.46), obtém-se

$$P_s(\mu; \xi) = \int_{-\infty}^{\infty} P_h(\eta; \xi) \exp\{-j2\pi\eta\mu\} d\eta \quad (2.52)$$

Bello [5] mostrou que canais com espalhadores descorrelacionados e canais estacionários no sentido amplo são canais duais em tempo/frequência.

Sendo o processo estacionário no sentido amplo, a função de correlação depende somente da diferença de frequência $\Omega (= 1 - f)$, dizendo que a variação ocorre em função de Ω e não com as frequências em si.

2.4.3 Canal estacionário no sentido amplo com espalhadores decorrelacionados (WSSUS)

O canal WSSUS tem como característica o fato de se formar uma classe de processo estacionário no sentido amplo e com espalhamento decorrelacionado na variável dos retardos.

Usando raciocínio semelhante ao usado nos itens 2.4.1 e 2.4.2, as funções para o canal WSUSS podem ser escritas como

$$R_h(t, s; \tau, \xi) = \delta(\tau - \xi) P_h(\eta; \xi) \quad (2.53)$$

$$R_H(v, \mu; f, l) = \delta(v - \mu) P_H(\mu; \Omega) \quad (2.54)$$

$$R_T(t, l; f, s) = R_T(\eta; \Omega) \quad (2.55)$$

$$R_s(\xi, v; \tau, \mu) = \delta(v - \mu) \delta(\tau - \xi) P_s(\mu, \xi) \quad (2.56)$$

Substituindo (2.55) na equação (2.49)

$$P_H(\mu, \Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_T(\eta; \Omega) \exp\{-2\pi\eta\mu\} d\eta \quad (2.57)$$

Resumidamente, as equações (2.53) a (2.57) relacionam as funções de correlação dos canais WSSUS às funções representadas de acordo com a Figura 2.7.

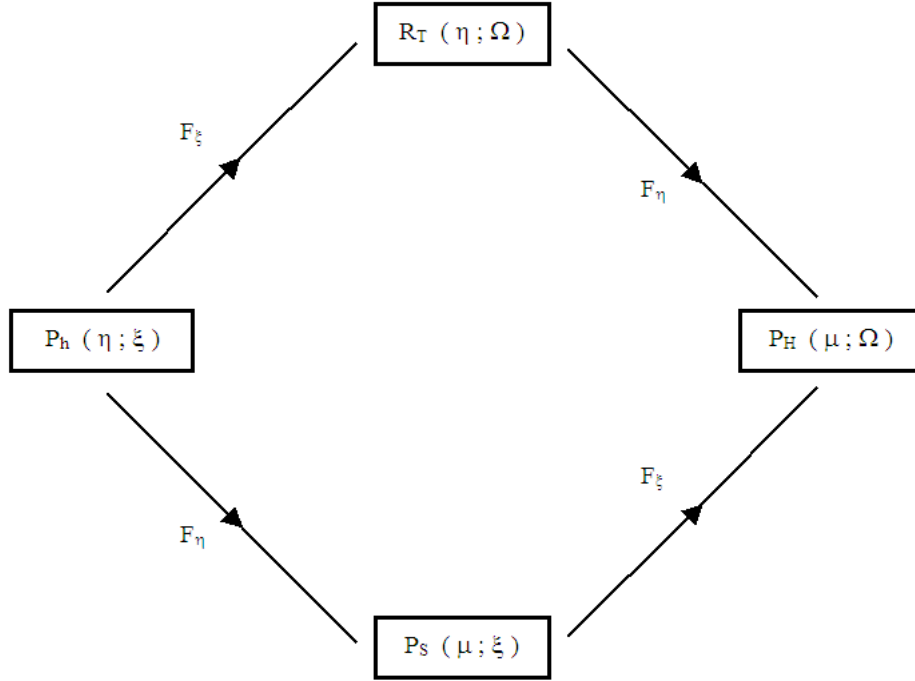


Fig 2.7 - Relações entre as Funções dos Canais WSSUS

A função $P_h(\eta; \xi)$ é denominada perfil de retardos de potência e $P_H(\mu; \Omega)$ perfil de Doppler. Uma vez partindo de $P_h(\eta; \xi)$, pode-se obter $P_s(\mu; \xi)$, $R_T(\eta; \Omega)$ e $P_H(\mu; \Omega)$, através de transformada de Fourier.

Para a correlação do sinal à saída do canal, ao substituir $s = \eta + t$ na equação (2.28), obtém-se

$$R_w(t, \eta + t) = \int_{-\infty}^{+\infty} z(t - \tau) z^*(\eta + t - \xi) R_h(t, \eta + t; \tau, \xi) d\tau d\xi \quad (2.58)$$

Tomando-se um instante de tempo de observação ($\eta = 0$) e considerando o sinal de entrada z impulsional em ($t = \xi$), obtém-se para a correlação, através da equação (2.50)

$$R_w(t, t) = P_h(\tau) \quad (2.59)$$

Esta equação mostra que a correlação R_w da função de saída do canal é função da potência média da envoltória da função resposta impulso do canal para $\eta = 0$, o que mostra que em canais WSSUS a função de correlação de saída do canal é o próprio perfil da distribuição, no tempo, da potência recebida, quando a entrada é impulsiva em relação a $P_h(t)$. Esta potência representa a dispersão no tempo, sobre distâncias curtas, que o canal introduz aos sinais que nele trafega.

Para se obter o deslocamento Doppler médio e o espalhamento Doppler é necessário se obter $R_z(f,f)$, usando o mesmo raciocínio utilizado para $R_z(t,t)$. Assim:

$$R_w(f,l) = \int_{-\infty-\infty}^{+\infty+\infty} z(v-f)z^*(\mu-f)R_H(v,\mu;f,l)dv d\mu \quad (2.60)$$

Com $\Omega = 1-f$ e considerando $\Omega = 0$ (frequência única e impulsiva), obtém-se:

$$R_w(f,f) = P_H(\mu) \quad (2.61)$$

A potência $P_H(f)$ representa a dispersão de frequência que o canal introduz em sinais que por ele trafegam.

2.5 PARÂMETROS DE DISPERSÃO

A dispersão do sinal radiomóvel pode ocorrer tanto no tempo quanto na frequência e tem origem, principalmente, no fenômeno de multipercurso do sinal transmitido devido aos diversos espalhadores encontrados no ambiente entre o móvel e a estação transmissora.

Com as diferentes localizações dos espalhadores, várias reflexões em diferentes momentos causam a chegada desse sinal no receptor em diferentes instantes de tempo

(retardos) causando a dispersão do sinal no tempo, que é caracterizada pelo Retardo Médio, Espalhamento de Retardo e Banda de Coerência.

Com a mobilidade do transceptor ou do meio em que ele se encontra, os sinais em determinado intervalo de tempo chegam em ângulos distintos (ângulo de chegada dos multipercursos), o que ocasiona uma dispersão do sinal na frequência (efeito Doppler), que é caracterizada pelo deslocamento Doppler, espalhamento Doppler e Tempo de Coerência.

2.5.1 Retardo Médio

Parâmetro associado à dispersão no tempo de um sinal transmitido num instante t e que devido aos diversos multipercursos associados a este sinal, chega ao receptor em diferentes instantes. O retardo médio é o tempo médio de ocorrência entre as réplicas (ecos) de multipercursos que chegam ao receptor, partindo do transmissor no mesmo tempo t . O retardo médio $\bar{\xi}$ é o primeiro momento central ou estatística de primeira ordem (média), de $P_h(\xi)$, definido por:

$$\bar{\xi} = \frac{\int_0^{\infty} \xi P_h(\xi) d\xi}{\int_0^{\infty} P_h(\xi) d\xi} \quad (2.62)$$

A equação (2.62) permite o cálculo do Retardo Médio, todavia para um sistema de aquisição discreto ela pode ser reescrita na equação (2.63), onde N é o número de picos de correlação existentes dentro do perfil de potência de retardos $P_h(\xi)$ medido, associados aos multipercursos e ξ_i são os retardos onde ocorrem os N picos.

$$\bar{\xi} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \xi_i P_h(\xi_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_h(\xi_i)} \quad (2.63)$$

2.5.2 Espalhamento de Retardo (delay spread)

A caracterização do espalhamento de retardo no meio permite que se adote uma taxa de transmissão digital conveniente, prevenindo a interferência intersimbólica e descartando o uso de equalizadores. O espalhamento de retardo σ_t é desvio padrão eficaz do retardo médio ou estatística de segunda ordem (variância), definido por:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} (\xi - \bar{\xi})^2 P_h(\xi) d\xi}{\int_0^{\infty} P_h(\xi) d\xi}} \quad (2.64)$$

Da mesma forma que ocorre com o retardo médio, a equação (2.64) pode ser reescrita para um sistema de aquisição discreto, como:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (\xi_i - \bar{\xi})^2 P_h(\xi_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_h(\xi_i)}} \quad (2.65)$$

2.5.3 Banda de Coerência

A banda de coerência B_c é uma medida estatística da faixa de frequências sobre a qual o canal pode ser considerado plano (a correlação entre as amplitudes das componentes espectrais é elevada). Na prática, a banda de coerência do canal limita a largura de banda do sinal a ser transmitido através dele e também indica o espaçamento mínimo entre duas frequências a serem empregadas num sistema com diversidade de frequências. Isso ocorre devido aos efeitos de incidência de multipercursos, uma vez

que cada componente de frequência do sinal transmitido tende a chegar ao receptor com diferentes atrasos de tempo.

Baseado em Yacoub [6] e Parsons [4], as intercorrelações entre funções de autocorrelações para canais WSSUS podem ser usadas para que $R_T(\Omega; \xi)$ seja obtida através da transformada de Fourier de $P_h(\eta; \xi)$.

Ao se considerar um instante de tempo ($\eta = 0$), a função de correlação de frequência se apresenta na forma da equação:

$$R_T(\Omega) = \int_0^{\infty} P_h(\xi) \exp\{-j2\pi\Omega\xi\} d\xi \quad (2.66)$$

Para um sistema de aquisição discreto, a equação (2.66) pode ser reescrita como:

$$R_T(\Omega_i) = \sum_{i=1}^N P_h(\xi_i) \cdot \exp\{-j2\pi\Omega_i\xi_i\} \cdot \Delta\xi \quad (2.67)$$

Sabendo que:

$$\begin{cases} R_T(\Omega; \eta) = R_T(\Omega) \\ P_h(\eta; \xi) = P_h(\xi) \end{cases} \quad \text{para } \eta = 0 \quad (2.68)$$

$$(2.69)$$

A banda de coerência BW_c é o menor valor de Ω para o qual $R_T(\Omega)$ se iguala a um coeficiente de correlação adequado, tipicamente 90%, podendo ser 50% [7]. Assim, traçando a curva de $R_{\text{Tnormalizado}} \times \Omega$, é possível determinar a banda de coerência Ω para o coeficiente adotado. O seu conhecimento indica o espaçamento mínimo entre duas frequências a serem empregadas num sistema com diversidade de frequência. Nesse caso as duas portadoras devem estar espaçadas de, no mínimo, um valor igual à banda de coerência para que seu emprego seja efetivo, ou seja:

$$\Delta f > BW_c \quad (2.70)$$

2.5.4 Deslocamento Doppler

Parâmetro associado à dispersão na frequência de um sinal transmitido e que devido ao movimento do móvel ou dos espalhadores, chega ao receptor com desvio de frequência. O deslocamento Doppler d_D é o desvio máximo de frequência sofrido pelo sinal transmitido. A variação de fase do sinal recebido causa uma modulação em frequência que tem como consequência a introdução de ruído no sistema.

Para uma determinada frequência, o que corresponde a $\Omega = 0$, tem-se no domínio do deslocamento μ , para o deslocamento Doppler:

$$d_D = \frac{\int_0^{\infty} \mu P_H(\mu) d\mu}{\int_0^{\infty} P_H(\mu) d\mu} \quad (2.71)$$

Esta equação pode ser reescrita para um sistema de aquisição discreto como:

$$d_D = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i P_H(\mu_i)}{P_H(\mu_i)} \quad (2.72)$$

onde μ_i são os valores discretos de deslocamento Doppler.

2.5.5 Espalhamento Doppler

Parâmetro associado à dispersão na frequência de um sinal transmitido ao longo de um canal devido aos multipercursos. O espalhamento Doppler é o desvio padrão eficaz σ_D do Deslocamento Doppler e fornece a medida da taxa de desvanecimento do canal, auxiliando na determinação das limitações da taxa de transmissão de dados. O deslocamento *Doppler* é a faixa de frequências na qual o espectro *Doppler* se espalha.

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} (\mu - d_D)^2 P_H(\mu) d\mu}{\int_0^{\infty} P_H(\mu) d\mu}} \quad (2.73)$$

A equação (2.73) pode ser reescrita para um sistema de aquisição discreto como

$$\sigma_D = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(\mu_i - d_D)^2 P_H(\mu_i)}{P_H(\mu_i)} \right]^{1/2} \quad (2.74)$$

O espalhamento é formado a partir da variação aleatória da frequência recebida por cada multipercurso, conforme a variação das estruturas ao redor do receptor, dando origem ao ruído de FM aleatório, responsável pelo limiar de ruído adotado nos sistemas de comunicação móvel digital.

2.5.6 Tempo de Coerência

Parâmetro associado à dispersão na frequência de um sinal transmitido, o tempo de coerência T_c é fator limitante no uso da diversidade no tempo que trabalha com a retransmissão de mensagens, onde o intervalo entre as retransmissões (Δt) deve ser maior que o tempo de coerência de forma que as mesmas sejam afetadas diferentemente pelo canal e para que a diversidade seja efetiva, ou seja:

$$\Delta t > T_c \quad (2.75)$$

Sendo o espalhamento na frequência o responsável pela variação nas amplitudes das componentes do sinal transmitido, o tempo de coerência do canal terá uma relação

inversa com o espalhamento Doppler. Para uma dada frequência ($\Omega = 0$), tem-se para a função de correlação no tempo:

$$R_T(\eta) = \int_0^{\infty} P_H(\mu) \exp\{j2\pi\eta\mu\} d\mu \quad (2.76)$$

E para um sistema de aquisição discreto, a equação (2.76) pode ser reescrita como:

$$R_T(\eta_i) = \sum_{i=1}^N P_H(\mu_i) \cdot e^{+j2\pi\eta_i\mu_i} \cdot \Delta\mu \quad (2.77)$$

Um valor típico para o tempo de coerência é de 90%. Ressalta-se que o tempo de coerência é uma medida estatística da duração no tempo sobre à qual a resposta do impulso é essencialmente invariante.

3 SISTEMA DE SONDAGEM

Técnicas de sondagem são utilizadas para a caracterização faixa-larga do canal radiomóvel e podem conduzir tanto à função de transferência variante no tempo, $T(f, t)$, quanto à função densidade espectral de potência de retardos, $P_h(\eta, \xi)$. No primeiro caso, a técnica de varredura é a empregada. Já no segundo caso, as mais difundidas são a técnica de Convolução por Filtro Casado e a STDCC [4]. Ambas trabalham com a sequência pseudo-aleatória (PN) como sinal de teste transmitido. A técnica de Convolução por Filtro Casado pode ter o filtro casado implementado por *software*, o que facilita a sua utilização e também tem a vantagem de que a sequência PN é necessária apenas na transmissão, mas em contrapartida, não há compressão do sinal recebido. Já a técnica STDCC, apesar de necessitar da geração da sequência PN também no receptor, tem a vantagem de fornecer a compressão do sinal recebido.

Neste capítulo serão vistos os aspectos mais importantes da sonda STDCC, utilizada na caracterização do canal radiomóvel, e a proposta de modificação da sonda utilizada por Matos [9], com o intuito de melhor caracterizar o canal rádio móvel em ambientes de maior densidade de vegetação.

No que se refere às modificações no sistema receptor, foi considerada a utilização do sinal de alinhamento (sinal de *trigger* gerado na saída do receptor), para melhorar o processamento dos dados obtidos e possibilitar a utilização da técnica Clean para a limpeza dos perfis de retardo de potência.

A rota de medição escolhida apresentava vegetação e construções entre transmissor e receptor, onde a incidência de raios de visada direta é fraca, o que dificulta o alinhamento dos picos de multipercurso recebidos, além de atenuar consideravelmente o sinal recebido, fatores esses que levam a uma maior incerteza na interpretação do sinal adquirido.

3.1 TÉCNICA DE SONDAGEM STDCC

Segundo Parsons [4], ao se aplicar um ruído branco $n(t)$ à entrada de um sistema linear, conforme a Figura 3.1, e se correlacionar a sua saída $r(t)$ com uma réplica da entrada retardada $n(t-\tau)$, obtém-se a resposta do impulso ao sistema no retardo de tempo τ , como a função de transferência do canal radiomóvel a ser determinada.

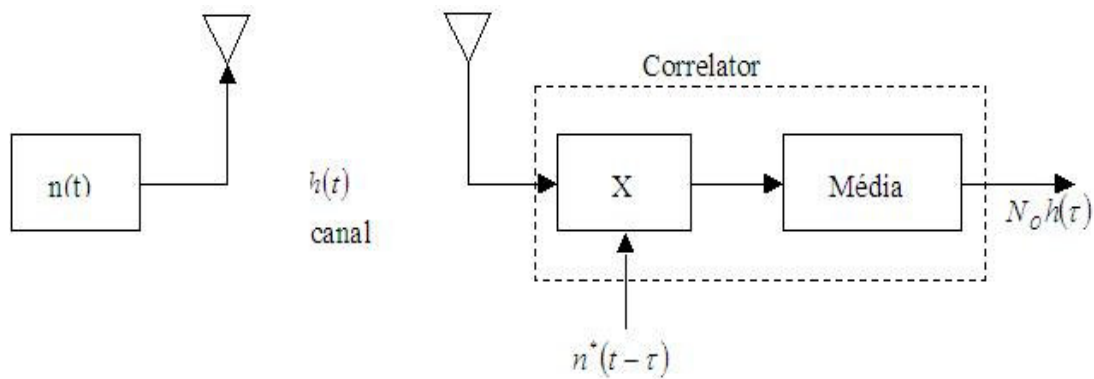


Fig 3.1 - Diagrama em Blocos do Sistema para Determinação da Resposta do Canal ao Impulso

Na entrada do receptor, tem-se o seguinte sinal, omitindo-se a modulação do mesmo:

$$r(t) = h(t) * n(t) \rightarrow r(t) = \int_0^{\infty} h(\xi) \cdot n(t - \xi) \cdot n^*(t - \tau) d\xi \quad (3.1)$$

Na saída do correlator, tem-se o valor esperado ou a média do sinal entre colchetes:

$$E[r(t) \cdot n^*(t - \tau)] = E\left[\int_0^\infty h(\xi) \cdot n(t - \xi) \cdot n^*(t - \tau) d\xi\right] \quad (3.2)$$

$$E[r(t) \cdot n^*(t - \tau)] = \int_0^\infty h(\xi) \cdot E[n(t - \xi) \cdot n^*(t - \tau)] d\xi \quad (3.3)$$

Sabendo que a autocorrelação de $n(t)$ é $R_n(\tau - \xi) = E[n(t - \xi) \cdot n^*(t - \tau)]$, obtem-se:

$$E[r(t) \cdot n^*(t - \tau)] = \int_0^\infty h(\xi) R_n(\tau - \xi) d\xi \quad (3.4)$$

A transformada inversa da densidade espectral unilateral de potência de $n(t)$ é a autocorrelação $R_n(t)$, constante e igual a N_o , tem-se:

$$R_n(\tau - \xi) = N_o \delta(\tau - \xi) \quad (3.5)$$

onde $\delta(\tau - \xi)$ é um impulso aplicado em $\tau = \xi$.

Substituindo a equação (3.5) na equação (3.4):

$$E[r(t) \cdot n^*(t - \tau)] = \int h(\xi) N_o \delta(\tau - \xi) d\xi \quad (3.6)$$

e considerando que $\int \delta(\tau - \xi) d\xi = 1$, obtem-se:

$$E[r(t) \cdot n^*(t - \tau)] = N_o h(\tau) \quad (3.7)$$

Verifica-se que, ao empregar o ruído branco associado a algum método de correlação, a resposta de um sistema linear ao impulso pode ser avaliada. Usa-se, na prática, uma sequência binária pseudo-aleatória de máximo comprimento, chamada de sequência PN (*pseudo-noise*), para representar o ruído branco, uma vez que é um sinal de faixa larga no plano de faixa de interesse.

A sonda STDCC correlaciona a sequência PN recebida com outra sequência similar, mas de taxa um pouco menor. Quando estas sequências se alinham, obtém-se um pico de correlação e quando estas estão desalinhadas, sua mistura espalha o sinal

que chega ao receptor em uma banda tão larga quanto à faixa da PN do receptor. Desta forma, não há necessidade de sincronismo das duas sequências em questão, pois sempre conseguirão alinhamento, já que uma sempre alcança a outra, após 1000 sequências (correlator deslizante). A Tabela 3.1 apresenta as características do sistema de sondagem.

Para o sistema em questão, foi utilizado o artifício de gerar a sequência PN a ser transmitida via *software*, amostrá-la em cinco amostras por bit, pré-equalizá-la e, posteriormente, armazená-la em memórias EPROM, para que fosse possível atenuar a distorção do sinal devido à não linearidade do amplificador de potência.

Informações da PN	Transmissor	Receptor
Comprimento	511 bits	511 bits
Frequência PN	9,99 MHz	10 MHz
Duração de bit	0,1001 μ s	0,10 μ s
Duração de uma sequências	51,1511 μ s	51,1 μ s
Número de amostras / bit ¹	5	5
Taxa de amostragem	49,95 MSPS	50 MSPS
Intervalo de amostragem	20,02 ns	20 ns

1 – A sequência PN teve suas amostras armazenadas em EPROMs e foram tomadas 5 amostras por bit.

Tabela 3.1 - Características do sistema de sondagem

No sistema receptor, a sequência PN transmitida $s(t)$ é passada por um demodulador I e Q, que converte o sinal de RF numa FI de 50 MHz em quadratura. Esta FI é misturada a sequência PN do receptor $s'(t)$, que é filtrada posteriormente em um integrador (filtro passa-baixa), resulta nos seguintes sinais de saída:

$$I = \sum_i a_i \times \cos(\phi_i) \times \left(\frac{1}{T}\right) \times \int_0^T s(t - \tau_i) \times s'(t) dt \quad (3.8)$$

$$Q = \sum_i a_i \times \sin(\phi_i) \times \left(\frac{1}{T}\right) \times \int_0^T s(t - \tau_i) \times s'(t) dt \quad (3.9)$$

considerando os termos dentro do somatório em (3.8) e (3.9) como k_1 e k_2 :

$$k_1 = \sum_i a_i \times \cos(\phi_i) \times \left(\frac{1}{T}\right) \quad (3.10)$$

$$k_2 = \sum_i a_i \times \sin(\phi_i) \times \left(\frac{1}{T}\right) \quad (3.11)$$

e a_i como a amplitude do sinal, τ_i o retardo e ϕ_i a fase dos multipercursos que chegam na antena do receptor. O termo dentro da integral é a correlação cruzada de s e s' , com a varredura de retardo τ_i .

Considerando que $s(t)$ é igual a $s'(t)$ retardado e expandido pelo fator k , pode-se escrever $s(t)$ da seguinte forma:

$$s(t - \tau_i) = s'\left(t - \frac{t}{k} - \tau_i\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I = k_1 \int_0^T s'\left(t - \frac{t}{k} - \tau_i\right) s'(t) dt \\ Q = k_2 \int_0^T s'\left(t - \frac{t}{k} - \tau_i\right) s'(t) dt \end{cases} \quad (3.12)$$

De onde se escrever $R_{s'}$ como a autocorrelação de $s'(t)$, expandida pelo fator k

$$\begin{cases} I = \sum_i \frac{a_i}{T} \left[R_{s'}\left(\frac{t}{k} + \tau_i\right) \right] \cos \phi_i \\ Q = \sum_i \frac{a_i}{T} \left[R_{s'}\left(\frac{t}{k} + \tau_i\right) \right] \sin \phi_i \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I - jQ = \sum_i \frac{a_i}{T} \left[R_{s'}\left(\frac{t}{k} + \tau_i\right) \right] e^{j\phi_i} \quad (3.13)$$

e os sinais obtidos nos ramos I e Q , fornecem os picos de correlação nos retardos τ_i e as fases ϕ_i , estas calculadas por:

$$\phi_i = \text{tg}^{-1}\left(\frac{\overline{Q}}{I}\right) \quad (3.14)$$

A cada 51,1 ms teremos um pico de correlação, ou seja, a cada 1000 seqüências do receptor ou 999 seqüências do transmissor, o que resumidamente, pode ser mostrado na Figura 3.2.

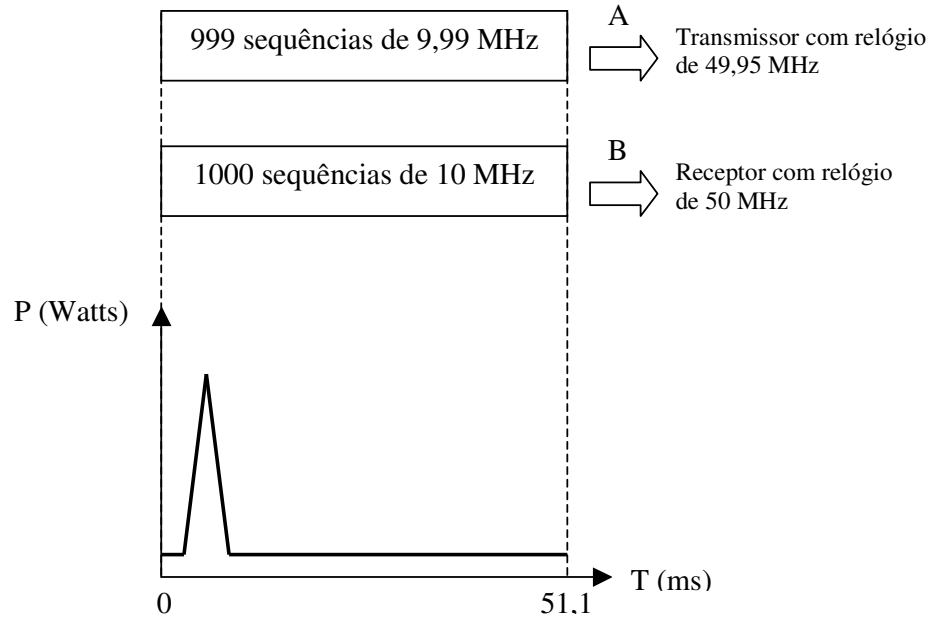


Fig 3.2 - Pulso de correlação

A sonda [9] utiliza detecção coerente, onde, na saída do receptor é obtida as componentes de fase $I(\xi)$ e quadratura $\overline{Q}(\xi)$, da resposta do impulso.

$$RI_h(\xi) = I(\xi) - jQ(\xi) \quad (3.15)$$

Para se obter o perfil de retardos de potência $P_h(\xi)$, calcula-se:

$$P_h(\xi) = |RI_h(\xi)|^2 \quad (3.16)$$

$$P_h(\xi) = |I(\xi) - jQ(\xi)|^2 \quad (3.17)$$

3.2 SONDA STDCC UTILIZADA

Foi utilizada a mesma sonda descrita por Matos [2], tendo como diferencial a utilização o sinal de *trigger* para o ajuste dos perfis de retardo de potência recebidos.

3.2.1 Faixa Dinâmica

Desprezando o efeito de ruído, pode-se dizer que a faixa dinâmica desta técnica de sondagem é função do comprimento da sequência PN utilizada na transmissão, sendo calculada por:

$$FD = 20 \cdot \log(m) \quad (3.18)$$

Para o sistema dado, foi utilizado o polinômio $x^9 + x^4 + 1$, que gera uma sequência PN de 511 bits (512 - 1).

Utilizando a equação (3.15), obtém-se:

$$FD = 20 \cdot \log(511) = 54 \text{ dB} \quad (3.19)$$

isto significa dizer que o sistema, idealmente, detecta multipercursos 54 dB acima do ruído. Observa-se, portanto, que quanto maior o número de bits da sequência PN adotada, maior será tal faixa dinâmica.

Na prática, haverá o ruído próprio da correlação, já que é realizada por circuitos reais, somado ao ruído do canal, o que levará a uma diminuição desta faixa.

3.2.2 Resolução de Frequência

É definida como:

$$R_F = \frac{1}{m \cdot T_{bit}} \quad (3.20)$$

Como $m=511$ bits,

$$R_F = \frac{1}{511 \times 20ms} = 19,57 \text{ kHz} \quad (3.21)$$

O que significa que a sonda utilizada só consegue discernir frequências acima de, aproximadamente, 19,6 kHz.

3.2.3 Resolução de Multipercurso

Tem-se duas definições importantes quanto à resolução de multipercursos: o menor valor de retardo abaixo do qual não se consegue discernir entre dois multipercursos recebidos ($t_{\min}$) e o maior valor de retardo acima do qual não se consegue detectar os multipercursos ($t_{\max}$). O primeiro é conhecido como resolução espacial enquanto o segundo como retardo de tempo máximo de multipercurso não ambíguo. Assim:

$$t_{\min} = T_{bit} \quad (3.22)$$

$$t_{\max} = m \times T_{bit} \quad (3.23)$$

$$t_{\min} = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \times 10^6} = 100ns \quad (3.24)$$

$$d = t_{\min} \times c = 3 \cdot 10^8 \times 100 \cdot 10^{-9} = 30m \quad (3.25)$$

$$t_{\max} = 511 \times 100 \cdot 10^{-9} = 51,1\mu s \quad (3.26)$$

$$d = t_{\max} \times c = 511 \times 100 \cdot 10^{-6} \times 3 \cdot 10^8 = 15,345Km \quad (3.27)$$

No sistema dado, $t_{\min} = 0,10 \mu s$ e $t_{\max} = 51,1 \mu s$. Isto significa que a sonda é capaz de distinguir raios com diferença de 30m no percurso de propagação e que não mais distingue raios com diferença superior a 15,345Km.

3.2.4 Resolução de deslocamento Doppler

É o máximo deslocamento Doppler que se consegue medir com o sistema utilizado. Assim:

$$f_D = \frac{1}{2 \cdot K \cdot m \cdot T_{bit}} \quad (3.28)$$

Para a sequência PN adotada:

$$T_{bit} = \frac{1}{10 \cdot 10^6} = 100ns \quad (3.29)$$

$$f_D = \frac{1}{2000 \times 511 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 9,7847 \text{ Hz} \quad (3.30)$$

Assim, para a sequência PN adotada, este valor é próximo a 10 Hz, sendo possível se observar deslocamentos Doppler na faixa (-10, +10 Hz), correspondendo a ângulos de incidência na faixa de (180°, 0°), de multipercursos que chegam de trás do receptor a multipercursos que chegam pela frente do mesmo.

Para que tal valor de Doppler possa ser medido, a velocidade máxima que o veículo pode alcançar é calculada por:

$$V_{\text{máx Deslocamento}} = \lambda \times f_D \quad (3.31)$$

$$V_{\text{máx Deslocamento}} = 3 \cdot 10^8 \times \frac{9,7847}{1,88 \cdot 10^9} = 5,621 \text{ km/h} \quad (3.32)$$

onde 1,88 GHz é a frequência da portadora.

A velocidade do móvel terá que cair com o crescimento da sequência, embora longos retardos possam ser resolvidos. Assim, m não pode crescer muito, pois acarreta num deslocamento Doppler máximo, medido, muito pequeno e este é função da estabilidade das fontes de frequência. Observa-se, também, que valores elevados de K vão conduzir à mesma situação, sendo o Doppler também um fator limitante para esta constante.

3.2.5 Fator de Escala

É definido como:

$$K = \frac{f_{maior}}{Df} \quad (3.33)$$

onde:

- f_{maior} é a maior frequência da PN (transmissor ou receptor)
- Df é a diferença entre as frequências das PNs

No sistema em questão:

$$K = \frac{10}{10 - 9,99} = 1000 \quad (3.34)$$

Na prática, significa que a cada 1000 perfis ocorre um alinhamento que será representado no receptor pela ocorrência de um pico de correlação.

No domínio do tempo, a duração de um perfil é igual a 51,1ms e no domínio do retardo, 51,1 μ s.

3.2.6 Sistema de aquisição

Para a determinação da taxa de amostragem, foi considerada a relação sinal/ruído dos perfis de retardo de potência, comparados com o sinal de alinhamento (sinal de *trigger*), buscando a melhor relação custo benefício, onde foi obtida a maior relação sinal/ruído, com menor perda de amostras.

No trabalho realizado por Matos [1], foi utilizada amostragem de 50 ksp/s para os sinais adquiridos, sendo amostrados os ramos em quadratura, além das informações de posição do móvel, estas através de um sensor de posição na roda do carro que transportava o sistema receptor.

No presente trabalho foram realizados testes de laboratório para determinar o comportamento do sistema com o aumento de taxa de aquisição de quatro canais, que são amplitude (I), fase (Q), deslocamento (P) e *trigger* (T), verificando um aumento de interferência entre os canais, devido a um sistema pouco robusto no isolamento de adaptação da placa DAQ (*Data Acquisition*), além de um aumento no número de amostras perdidas pelo sistema de aquisição, o que pode ser detectado com a presença do sinal de *trigger*.

Essa interferência tornou-se mais intensa com o crescimento da taxa de amostragem entre o mínimo permitido (critério de Nyquist) e o máximo suportado pela placa DAQ (200 ksp/s), observando-se uma relação sinal/ruído consideravelmente menor com o aumento da taxa de amostragem, como se vê nas Figuras 3.3 e 3.4, onde se tem uma relação sinal/ruído de 6,4 dB e 13,4 dB, respectivamente. Isto porque também foram adquiridos picos que, com a taxa menor, não foram possíveis de serem detectados. Assim, há um compromisso entre o crescimento da taxa de aquisição de dados e a perda de amostras.

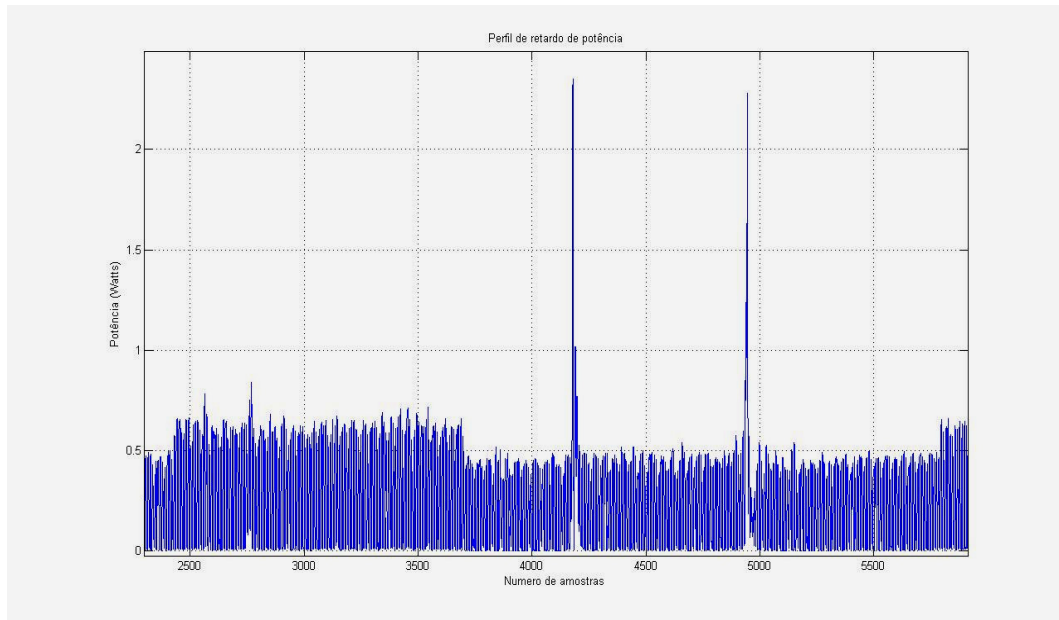


Fig 3.3 - Perfil de retardo de potência com taxa de amostragem de 50 ksp/s

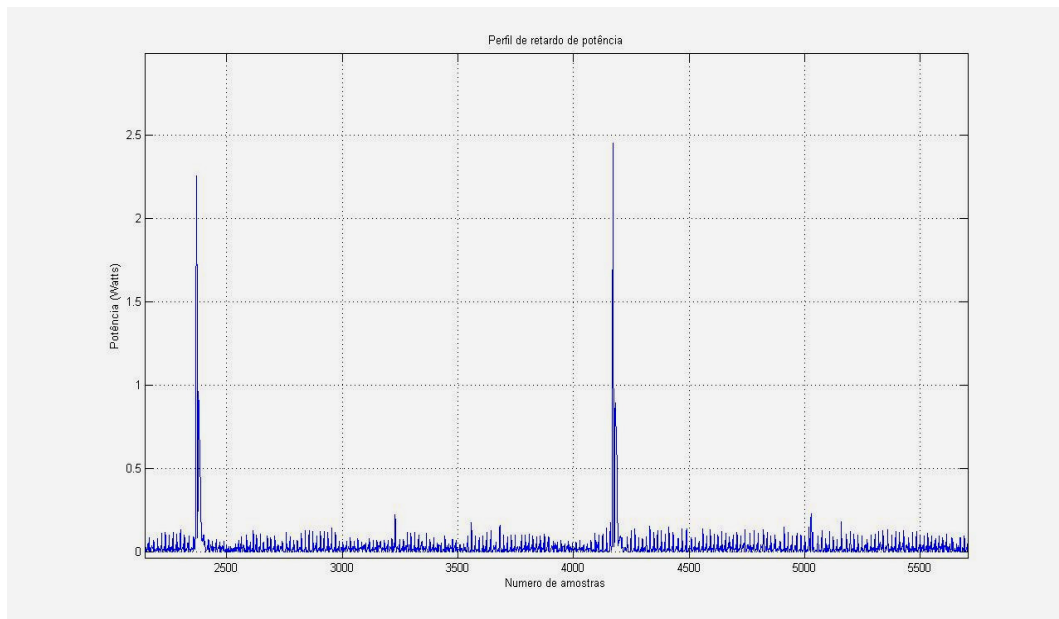


Fig 3.4 - Perfil de retardo de potência com taxa de amostragem de 40 ksp/s

Considerando o uso de dois canais para os Ramos I e Q, um canal para as informações provenientes do pulso da roda e outro canal destinado à amostragem do sinal de alinhamento, a taxa máxima permitida por canal é de 50 ksp/s.

Em função do fator k utilizado, a banda comprimida na saída da sonda terá largura aproximada de $LB = 10\text{kHz}$. Pelo teorema de Nyquist precisa-se de uma frequência mínima de amostragem de $f = 20\text{kHz}$. Considerando o critério de Nyquist e a frequência do sinal de saída do receptor, verificou-se que a taxa de amostragem de 20 ksp/s seria suficiente, como mostra a Figura 3.5.

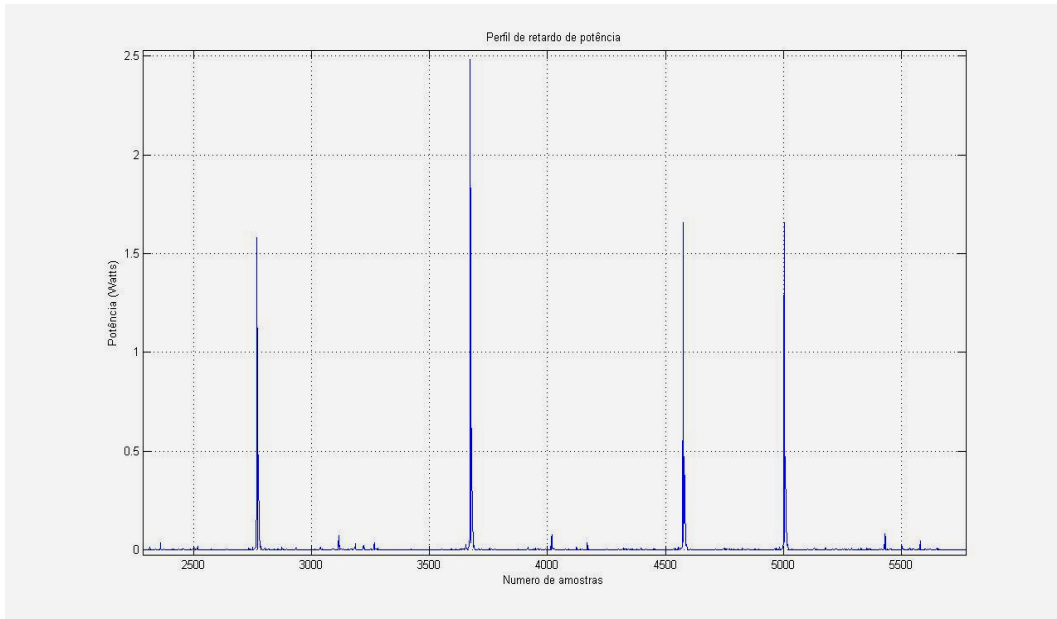


Fig 3.5 - Perfil de retardo de potência com taxa de amostragem de 20 ksp/s

As Figuras 3.3, 3.4 e 3.5 mostram o aumento da relação sinal/ruído proporcionalmente à diminuição da taxa de amostragem. Nos testes realizados observou-se que a utilização de taxa de amostragem de 50 ksp/s desaconselharia a utilização do sinal de alinhamento por dois motivos. O primeiro é a introdução de ruído demasiado nos perfis de retardo de potência pelo sinal de alinhamento, o que pode mascarar sinais mais fracos, e o segundo, um aumento considerável do número de amostras perdidas, o que não garantiria a eficiência do sistema de recuperação, todavia, não impediria o alinhamento dos perfis em situações de visada direta.

Um exemplo prático é o visto no perfil da Figura 3.3, onde dois picos de correlação de visada se aproximam devido à perda elevada de amostras. Caso fosse uma medida em espaço livre e desconsiderada a distância percorrida pelo sinal, estes 2 picos

seriam interpretados de forma equivocada, como dois picos de multipercurso pertencentes ao mesmo perfil (localizados entre amostra 4000 e 5000).

Na Figura 3.6 é mostrado o pulso de *trigger*, de duração igual a 51,1 μ s. Como tal pulso é conhecido, podem-se recuperar suas amostras e sabe-se que só poderá haver um pico de correlação referente a um sinal de visada direta dentro de um pulso de *trigger*. Assim, observando o sinal de alinhamento associado ao perfil medido, verifica-se que é falso dizer que o segundo pico da Figura 3.3 estaria no mesmo perfil de retardos e representaria um multipercurso. O item 3.2.7 tratará deste sinal de alinhamento com mais detalhes.

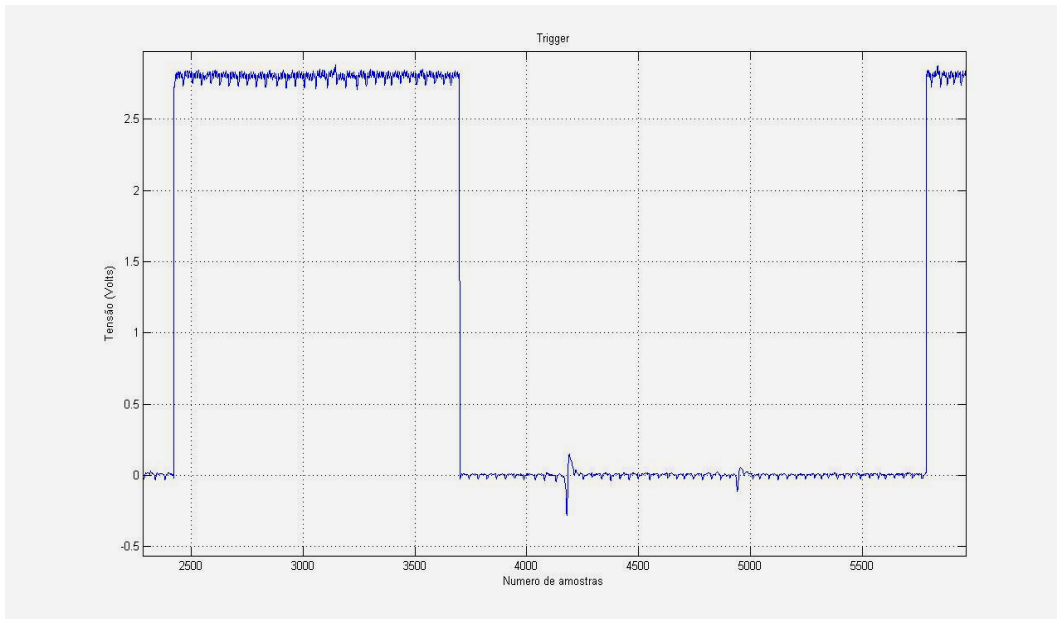


Fig 3.6 - Informação de *trigger* com taxa de amostragem de 50 ksp/s

3.2.7 Sinal de alinhamento (*trigger*) e alinhamento dos perfis

Na concepção do sistema transmissor/receptor [9], pensou-se na possibilidade de inserção de um sinal conhecido no sistema, de forma a identificar possíveis perdas de amostra pelo sistema de aquisição e auxiliar no alinhamento dos perfis adquiridos sem visada direta. Decidiu-se que a geração desse sinal seria mais segura e conveniente no sistema receptor, por evitar que o sinal fosse transmitido e sofresse influência do canal radiomóvel.

O sistema receptor foi construído basicamente em dois blocos, sendo o primeiro de radiofrequências e o segundo de eletrônica. Dentro do segundo bloco foi usado um Dispositivo Lógico Programável (EPLD), onde foram programadas as lógicas de controle e endereçamento para a geração da sequência PN do receptor, em blocos hierárquicos. Foi acrescentado paralelamente a esses blocos, um denominado *lógica_reset_contador* [10].

O bloco *lógica_reset_contador*, é um contador responsável em contabilizar o número de sequências PN gerado e conseqüentemente formatar o pulso do *trigger2*, de forma que o mesmo fique em nível lógico alto por 500 sequências ($t = 500 \times 51,1\mu s = 25,55ms$) e nível lógico baixo durante a geração das 500 sequências restantes, facilitando a visualização do sinal no osciloscópio e sendo disponível a captura pela placa de aquisição.

Matos [9] pensou inicialmente em utilizar um gravador para o armazenamento do sinal recebido. Este gravador tem capacidade de aquisição de uma largura de banda máxima de 20 kHz, com o sinal originalmente gerado para o *trigger2*, o nível lógico alto tinha duração de 51,1 μs , o que ocuparia uma largura de banda aproximada de 19,6 kHz para o sistema de gravação e qualquer um entre os formatos disponíveis para este sinal satisfariam à banda do equipamento. Verificou-se, entretanto, que uma placa ADQ atenderia à saída do receptor da sonda, apenas com o inconveniente da placa possuir *buffer* de armazenamento de 1024 amostras. Com a utilização da placa, o sistema de recuperação (*trigger*) passou a ficar livre para outras funções.

O Diagrama de blocos da Figura 3.7 representa um circuito que possui dois controles de formatação dos pulsos de *trigger*, um controle atua levando a tensão para 0V quando a contagem atinge 500 sequências PN geradas e outro, elevando a tensão para 2.8V quando a contagem atinge 1000.

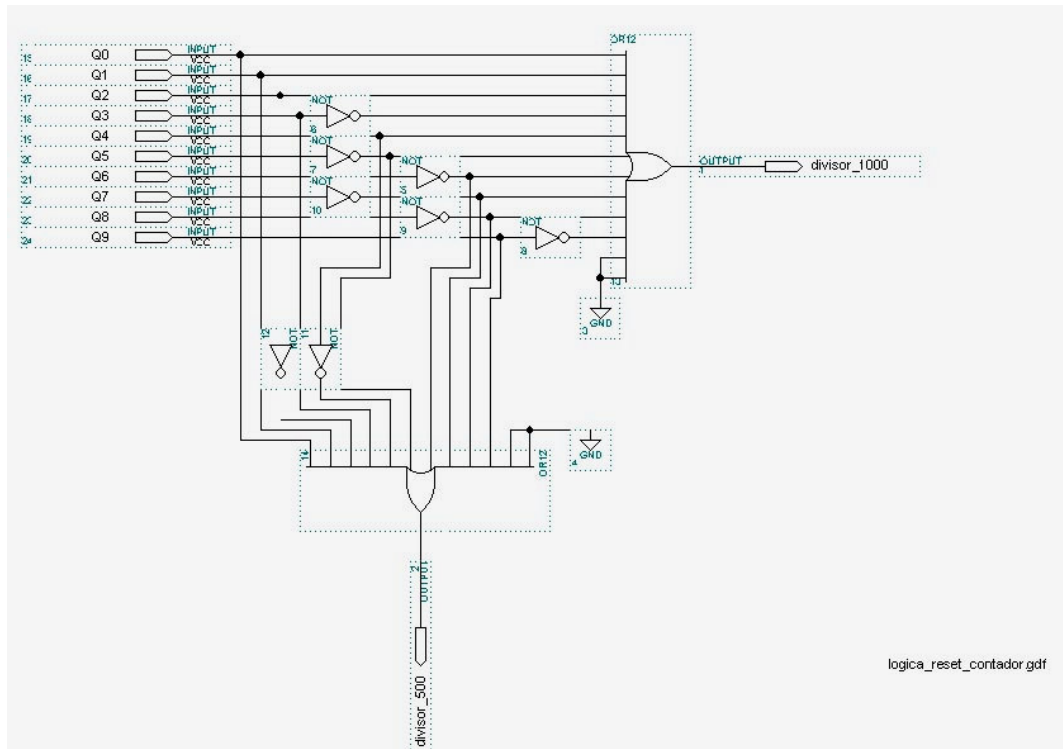


Fig 3.7 - Circuito de *reset* do contador

Desta forma, o flip-flop na saída do circuito gerador do pulso de *trigger*, mostrado na Figura 3.8, terá a saída com nível lógico 1 (2,8V) quando a contagem for iniciada ou passar pela contagem 1000 e nível lógico 0 (0V) quando a contagem passar pela sequência de número 500. Com taxa de amostragem igual a 20 ksps, esta transição se fará na amostra 511, uma vez que 1000 sequências geradas (equivale a um pico de correlação) serão adquiridas em 1022 amostras. A Figura 3.9 mostra pulso de *trigger*, suas transições e duração.

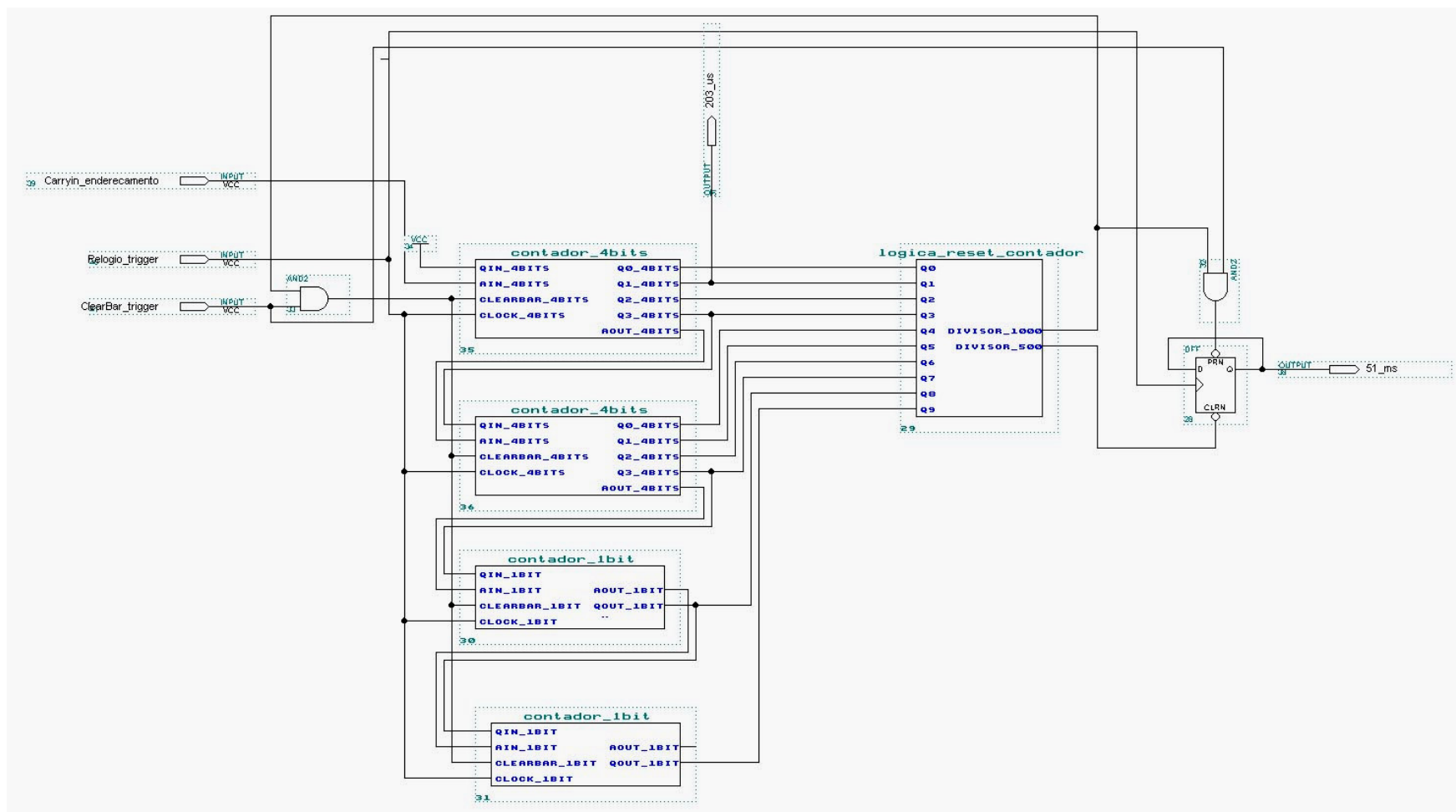


Fig 3.8 - Diagrama de bloco de geração do pulso de *trigger*

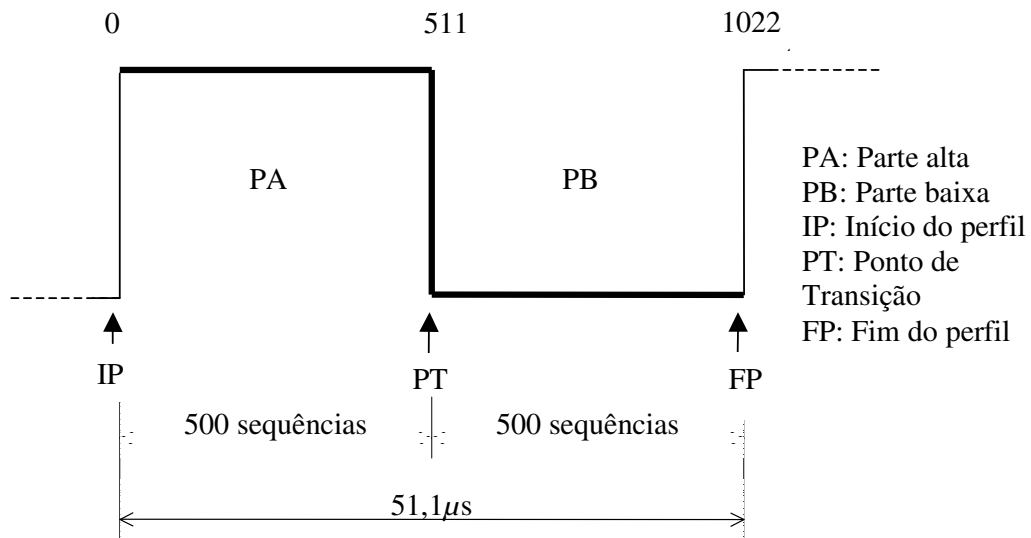


Fig 3.9 - Pulso de *trigger* gerado pelo receptor

O pulso de *trigger* gerado pelo receptor é amostrado a 20 ksp/s e chamado, pelo programa desenvolvido, depois do tratamento, de sinal de alinhamento.

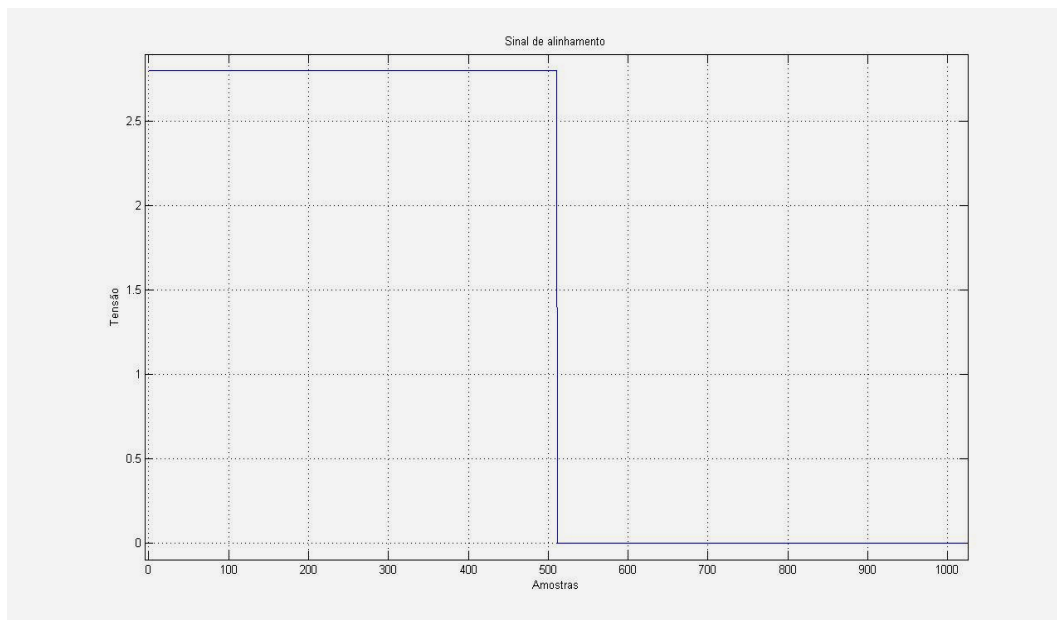


Fig 3.10 - Sinal de alinhamento gerado no receptor e amostrado a taxa de 20 ksp/s

3.2.8 Processamento dos dados adquiridos

Como mencionado na seção anterior, o ponto de transição do sinal ocorre sempre na amostra 511 (última amostra da parte alta) do sinal e equivale à geração da sequência PN de número 500 no receptor. A última amostra do sinal adquirido, considerando a taxa de aquisição de 20 ksp/s, é a de número 1022 (total de 1022 amostras) e corresponde à geração da sequência 1000.

Para o processamento dos dados adquiridos, fez-se necessário encontrar a forma para se proceder com a determinação do começo e fim de um perfil adquirido, e foi considerada a geração de 1000 sequências no receptor. A transição ascendente do sinal de *trigger* gerado pelo circuito indica o começo da geração de 1000 sequências no receptor (fator de compressão $k = 1000$). A nova transição ascendente indica o fim de um perfil e o início do próximo. Com isso, todos os dados adquiridos são separados por perfis, considerando a geração de 1000 sequências no receptor, durante o processamento dos dados. Com essa separação, é possível determinar o número de amostras de cada perfil, inclusive alocar dentro dos perfis os picos de correlação adquiridos.

Um ponto observado é que não é possível determinar quais amostras foram perdidas, todavia é possível identificar a precisão do perfil analisado, pois o sistema identifica qual parte perdeu amostra e quantas foram perdidas, uma vez que a quantidade de amostras nos quatro canais (Amplitude, fase, posição e *trigger*) são sempre iguais.

Para o alinhamento, foi considerado o ponto de transição, que é sabido que ocorre na amostra 511, de forma que todos os perfis são analisados e deslocados corretamente, para ter este ponto como ponto central. Esse procedimento é equivalente a deslocar o perfil como um todo. Quanto às amostras perdidas, são substituídas pelo valor mínimo encontrado para cada rota, do ponto de transição para o início, no caso da parte alta do sinal de alinhamento e do ponto de transição para o fim, no caso da parte baixa. A Figura 3.11 mostra esta inserção.

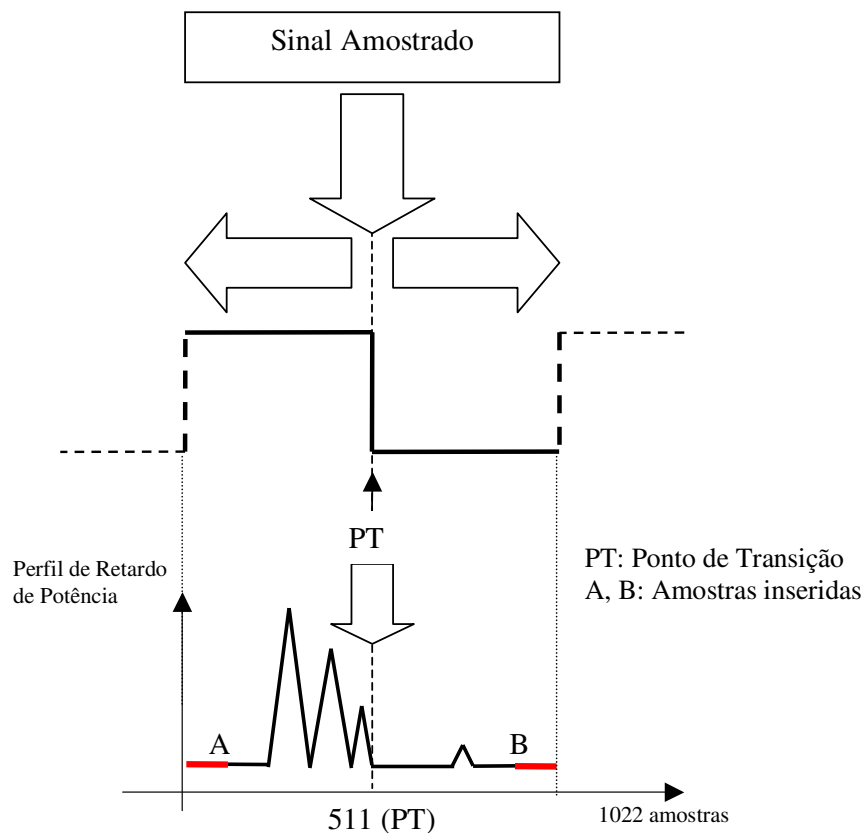


Fig 3.11 - Esquema de inserção de amostras e realinhamento de perfis

Essa preocupação com o ponto de alinhamento é justificada considerando que o deslocamento do móvel ocorre em ambiente onde não é esperada a recepção forte de sinal em visada direta, o que influi diretamente no alinhamento dos perfis de retardo de potência recebidos.

Como exemplo do que é representado na Figura 3.11, foram escolhidos os perfis de retardo de potência de números 805 e 806 de uma determinada rota, pois tratam-se de perfis com a presença de raio de visada direta. As Figuras 3.12 e 3.13 mostram, respectivamente, os sinais de *trigger* dos perfis mencionados, onde se percebe na Figura 3.12 a perda de amostras após a amostra 512 (parte “baixa” do sinal de *trigger*) e na Figura 3.13 a perda de amostra antes da amostra 511 (parte “alta” do sinal de *trigger*).

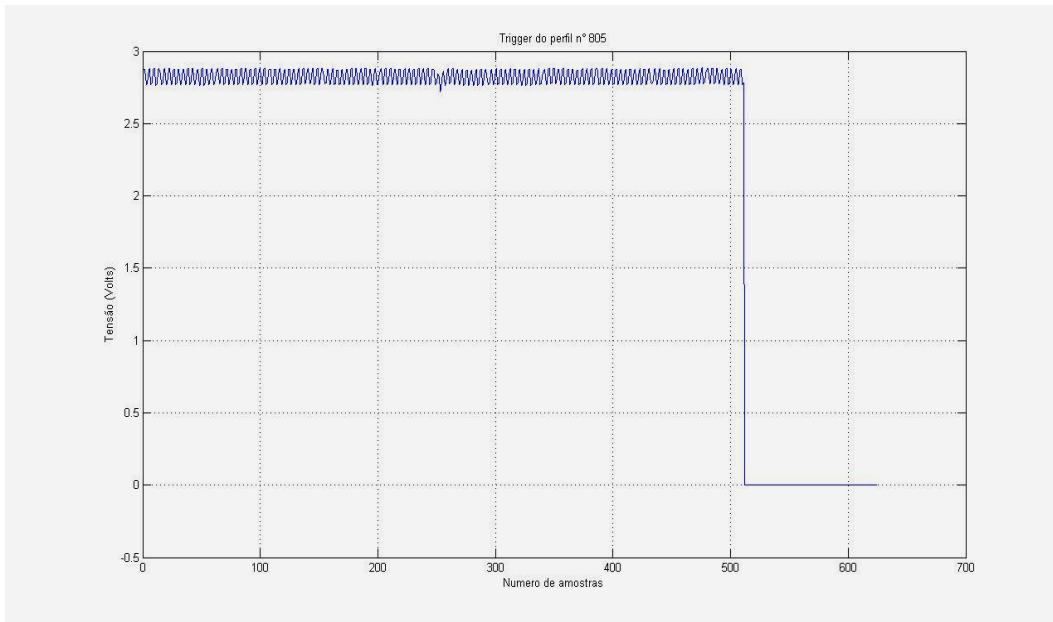


Fig 3.12 - Sinal de *Trigger* do Perfil nº 805

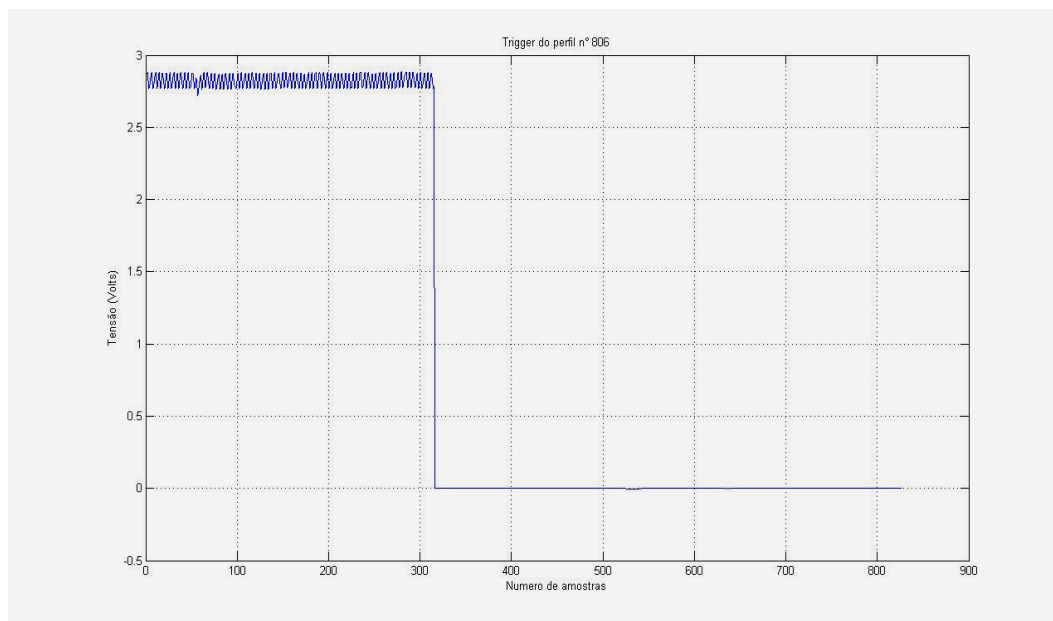


Fig 3.13 - Sinal de *Trigger* do Perfil nº 806

Na Figura 3.14, observa-se que o pico de correlação do perfil número 805, em visada direta, ocorre próxima à amostra 250. Na Figura 3.15, o mesmo ocorre próximo à amostra 50. Em um primeiro momento, o alinhamento necessário para o correto processamento seria realizado apenas alinhando as amostras dos picos de correlação de

visada direta de ambos os perfis (a procura pelo pico de visada é feita pelo maior valor de potência recebido dentro do perfil), sendo interessante o acréscimo das amostras perdidas para a efetivação da operação.

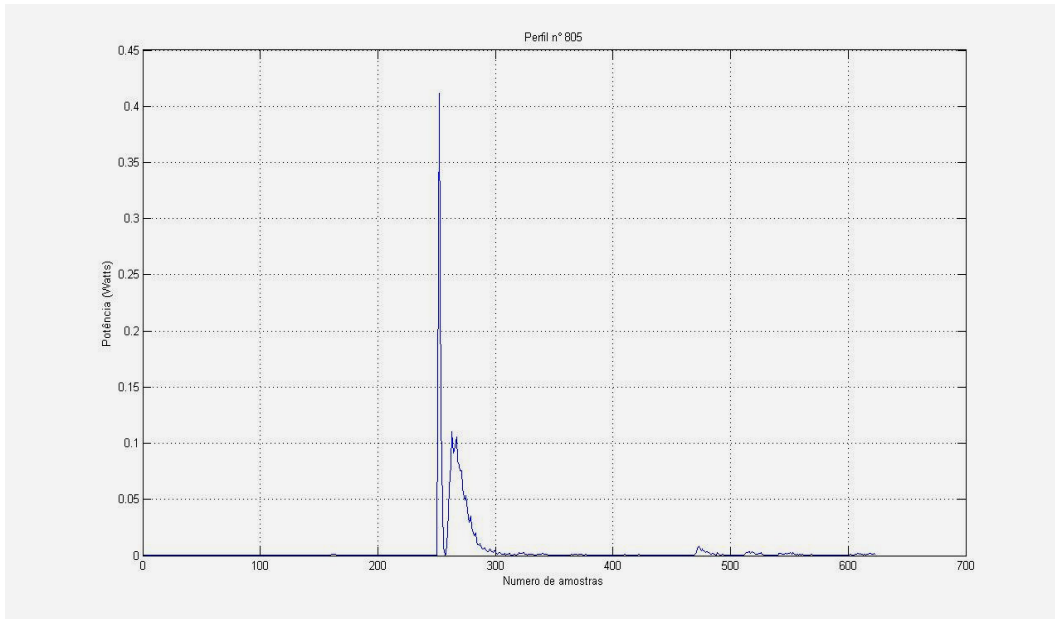


Fig 3.14 - Perfil n° 805 antes do alinhamento

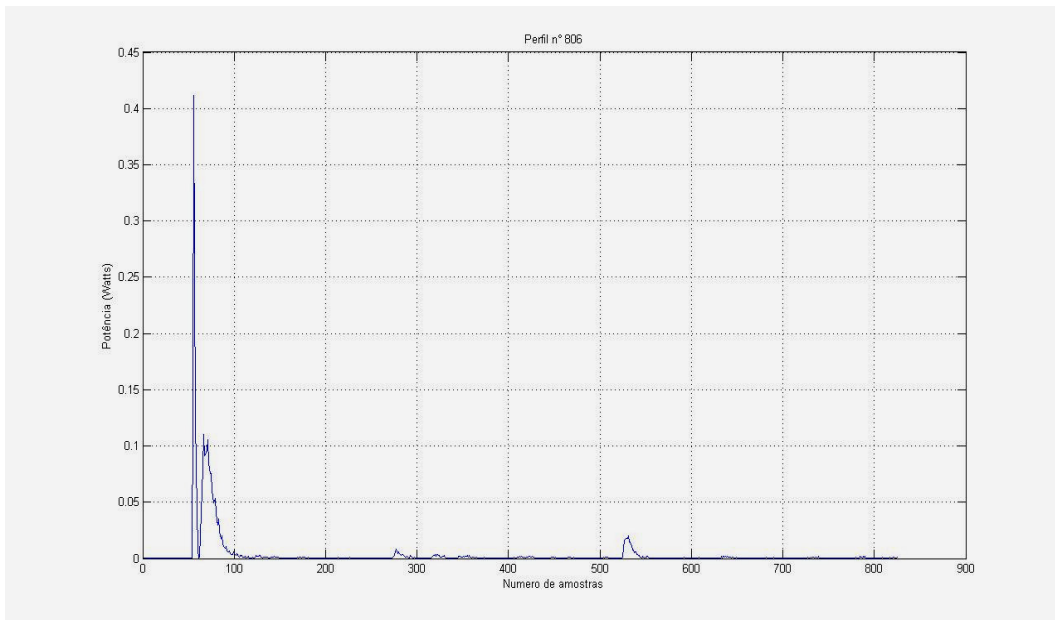


Fig 3.15 - Perfil n° 806 antes do alinhamento

Todavia, não foi possível realizar tal operação com todos os dados adquiridos do canal rádio móvel em questão, pois devido à disposição do caminho percorrido pelo móvel em relação à vegetação, praticamente toda a rota foi percorrida sem visada com o transmissor, o que levou a recepção de sinais sem visada direta (*NLOS*).

Para o alinhamento dos perfis foi implementado o esquema de alinhamento de amostras mostrado na Figura 3.11, o resultado pode ser visualizado nas Figuras 3.16 e 3.17. Da mesma forma, os perfis recebidos com sinal sem visada direta foram alinhados e nos casos necessários, foram acrescentadas amostras nas extremidades dos perfis.

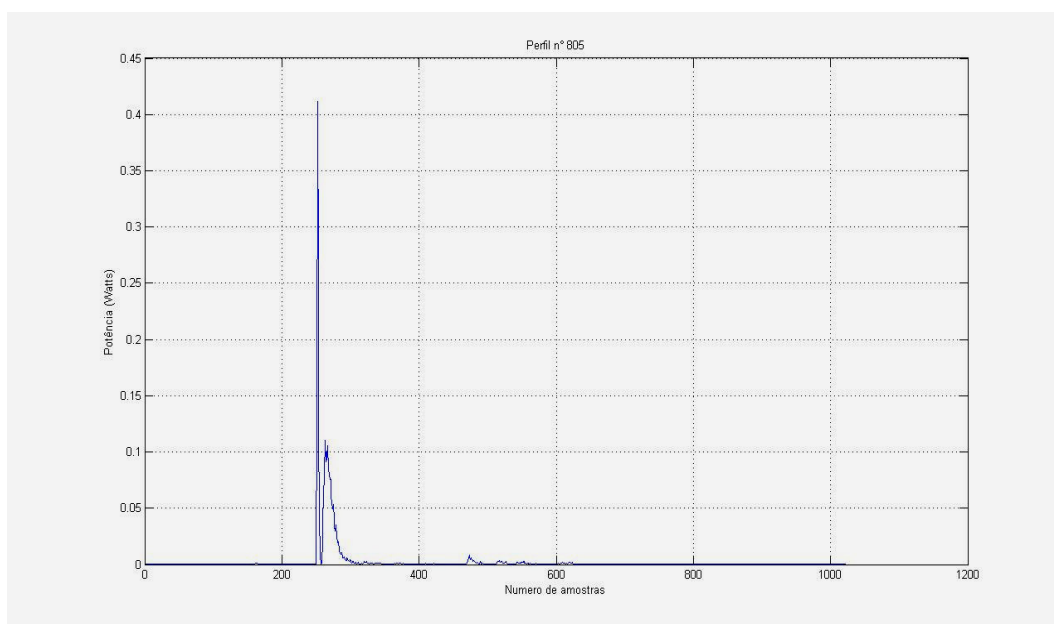


Fig 3.16 - Perfil n° 805 após o alinhamento

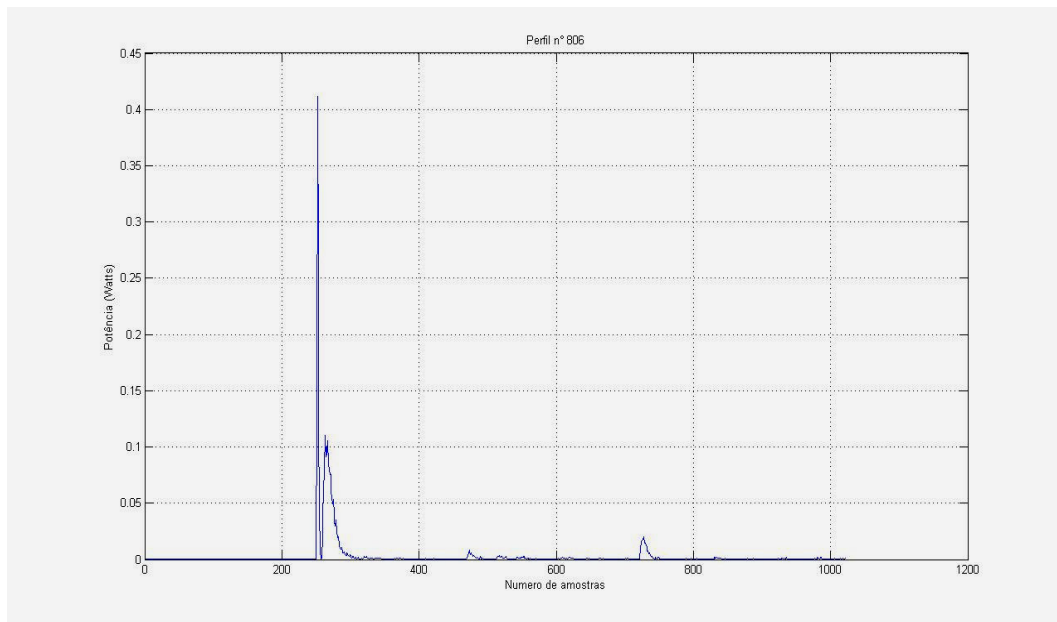


Fig 3.17 - Perfil n° 806 após o alinhamento

Verificou-se que após o alinhamento realizado, os picos de correlação nos perfis 805 e 806 foram posicionados nas proximidades da amostra 250, o que efetivou o alinhamento dos dois picos, consequentemente melhorando o resultado de Doppler.

Posteriormente ao alinhamento dos perfis de retardo de potência, é aplicada uma técnica de limpeza de perfil, que será discutida posteriormente, no item 4.2. O programa desenvolvido para o processamento das amostras contempla o uso de diferentes tipos de janelas [11] para o cálculo dos parâmetros que necessitam de transformadas de Fourier (banda de coerência, deslocamento Doppler, espalhamento Doppler e tempo de coerência). O capítulo 4 detalha o procedimento para a limpeza dos perfis bem como os métodos usados e um complemento das informações pode ser encontrado nos Apêndices D e E.

3.2.9 Controle de deslocamento e informação de distância e velocidade.

Para se determinar qual a posição do receptor dentro da rota e a sua velocidade em determinados momentos, utilizou-se uma roda presa na traseira do veículo onde foi montado o sistema receptor. Essa roda possui um diâmetro de 48 cm e é composta de 36

raios que foram separados em 12 blocos, resultando em 12 blocos obstruídos e 12 blocos em aberto, conforme Figura 3.18.



Fig 3.18 - Sistema utilizado para medição de distância percorrida e velocidade

Para o cálculo da distância percorrida, por cada volta da roda, tem-se

$$D = 2\pi \times r \Rightarrow D = 2\pi \times 0,24 \Rightarrow D = 1,05797m \quad (3.35)$$

Para cada bloco, aberto e obstruído, o ângulo correspondente é de

$$\beta = \frac{360^\circ}{12} \Rightarrow \beta = 30^\circ \quad (3.36)$$

onde para cada bloco obstruído tem-se $\gamma = \frac{2\beta}{3} \Rightarrow \gamma = 20^\circ$ e para cada bloco em

aberto tem-se $\theta = \frac{\beta}{3} \Rightarrow \theta = 10^\circ$.

Graficamente pode ser representado como:

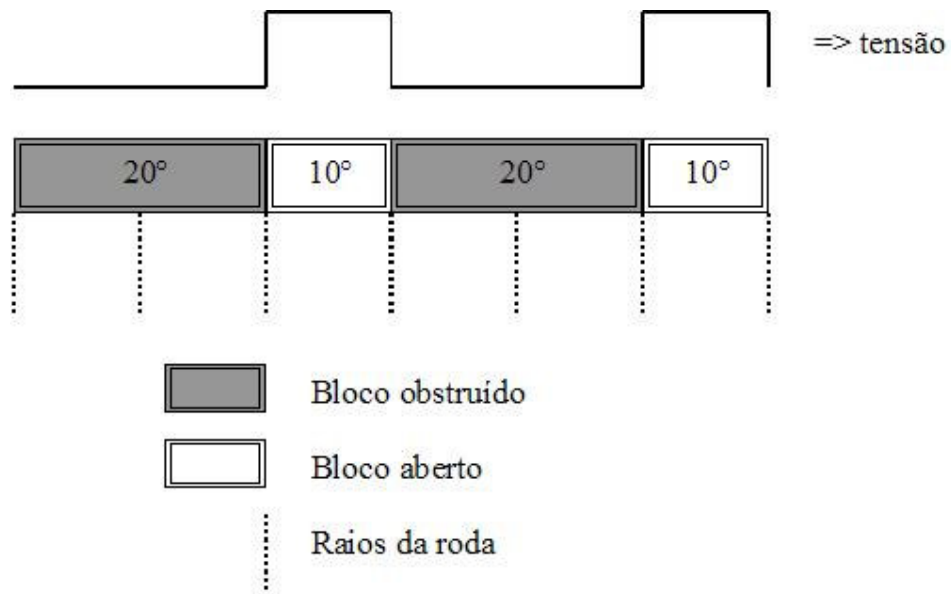


Fig 3.19 - Representação gráfica do medidor de distância

$$d_1 = \theta \times R \Rightarrow d_1 = 0,24 \times \frac{10\pi}{180} \Rightarrow d_1 = 0,04189m \quad (3.37)$$

$$d_2 = \gamma \times R \Rightarrow d_2 = 0,24 \times \frac{20\pi}{180} \Rightarrow d_2 = 0,08378m \quad (3.38)$$

Sabendo que:

- TA = Taxa de Amostragem
- NA = Número de Amostras
- d_1 = Distância percorrida pelo bloco em aberto
- d_2 = Distância percorrida pelo bloco obstruído

Obtem-se:

$$v_1 = \frac{TA \times d_1}{NA} \Rightarrow v_1 = \frac{20000 \times 0,04189}{NA} = \frac{837,8}{NA} [m/s] \Rightarrow v_1 = \frac{3016,8}{NA} [Km/h] \quad (3.39)$$

$$v_2 = \frac{TA \times d_2}{NA} \Rightarrow v_2 = \frac{20000 \times 0,08378}{NA} = \frac{1675,6}{NA} [m/s] \Rightarrow v_1 = \frac{6032,2}{NA} [Km/h] \quad (3.40)$$

Observa-se que, teoricamente, $v_1 = v_2$ já que o número de amostras referente ao bloco 1 (aberto) é metade do número de amostras referente ao bloco 2.

Logo:

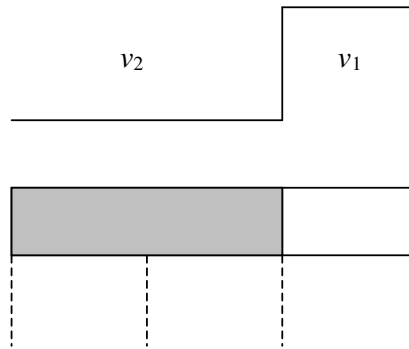


Fig 3.20 - Cálculo das velocidades em função dos dados de posição

Mesmo utilizando taxa de 20 ksps, o sinal de posicionamento foi afetado por uma interferência oriunda do sinal de *trigger*, essa interferência se somou a uma variação do nível DC do sinal (diminuição do nível proporcional ao aumento da velocidade do receptor), como mostrado na Figura 3.21.

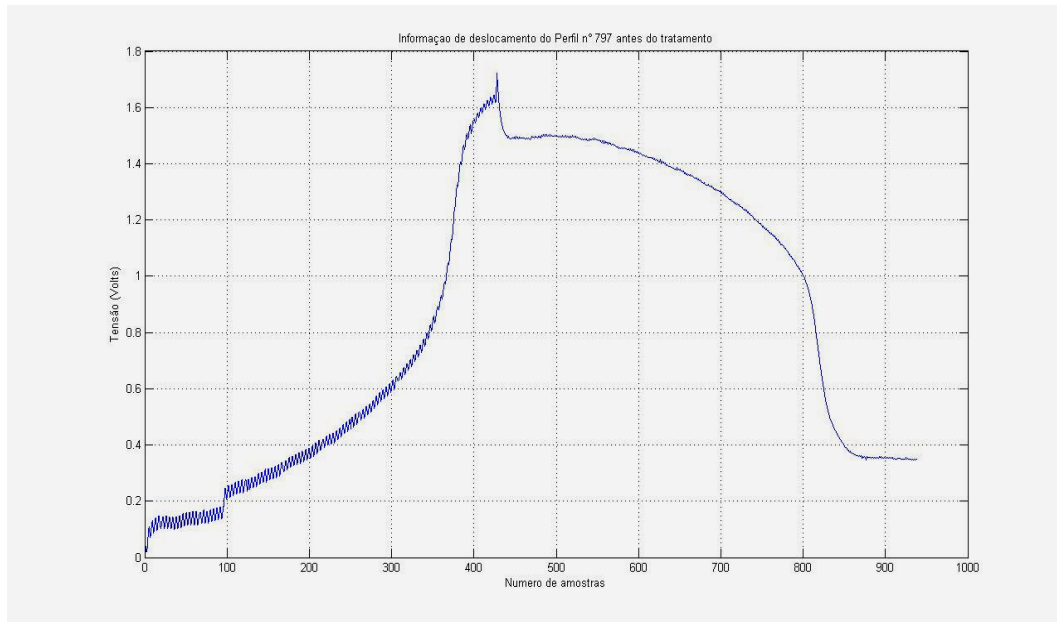


Fig 3.21 - Pulso da roda antes do tratamento

O programa desenvolvido para a recuperação e limpeza dos perfis elimina as interferências sofridas no sinal de posição, conforme mostrado na Figura 3.21 e acrescenta, baseado no sinal de alinhamento, as amostras perdidas.

Um exemplo prático de melhora introduzida pela utilização do sinal de alinhamento é concernente à velocidade de deslocamento. Baseado na Figura 3.21 (considerando limiar de tensão em 0,6 Volts, onde abaixo desse valor é considerado nível lógico 0 e acima 1), e utilizando fórmula 3.35 a velocidade calculada do móvel igual a:

$$v_1 = \frac{3016,8}{521} \cong 5,79 \text{ km/h} \quad (3.41)$$

Para esse caso, o perfil perdeu 84 amostras que foram completadas pelo programa desenvolvido para processamento das amostras adquiridas e posteriormente foi eliminada a interferência causada pelo sistema. Calculando a velocidade do móvel para a nova situação, onde tem-se 521 amostras adquiridas, mais 84 amostras perdidas, tem-se um total de 605 amostras e a velocidade passa a ser a equação 3.42. Optou-se por

tirar a média entre os 2 valores, para se determinar a velocidade do móvel, uma vez que não se sabe se as amostras perdidas estavam acima ou abaixo do limiar.

$$v_2 = \frac{3016,8}{605} \cong 4,99 \text{ km/h} \quad (3.42)$$

Assim, a média calculada seria igual a:

$$\frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{5,79 + 4,99}{2} \cong 5,39 \text{ km/h} \quad (3.43)$$

e esta é a velocidade aproximada do veículo.

Caso fosse considerado o número de amostras da Figura 3.21, o perfil em questão seria descartado uma vez que a sonda tem resolução para deslocamento até 5,621 km/h, de acordo com o cálculo apresentado na equação (3.32).

3.3 TESTES DE LABORATÓRIO

Durante a preparação para as medições de campo foram realizados testes de laboratório, para verificar o correto funcionamento do sistema transmissor / receptor e realizar os devidos ajustes, caso necessário.

Para o teste do transmissor, foi utilizado um atenuador de 30 dB inserido no local da antena de transmissão e a sua saída ligada à entrada do analisador de espectro. O sinal de FI, na entrada de RF, pode ser visto na Figura 3.22.

Para o teste do receptor, o analisador de espectro foi retirado e a saída do atenuador ligada à entrada de RF do receptor para se verificar a ocorrência de picos de correlação na saída do receptor. Após a comprovação do correto funcionamento, como pode ser visto anteriormente nas Figuras 3.3, 3.4 e 3.5, as medições no campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro / RJ foram realizadas.

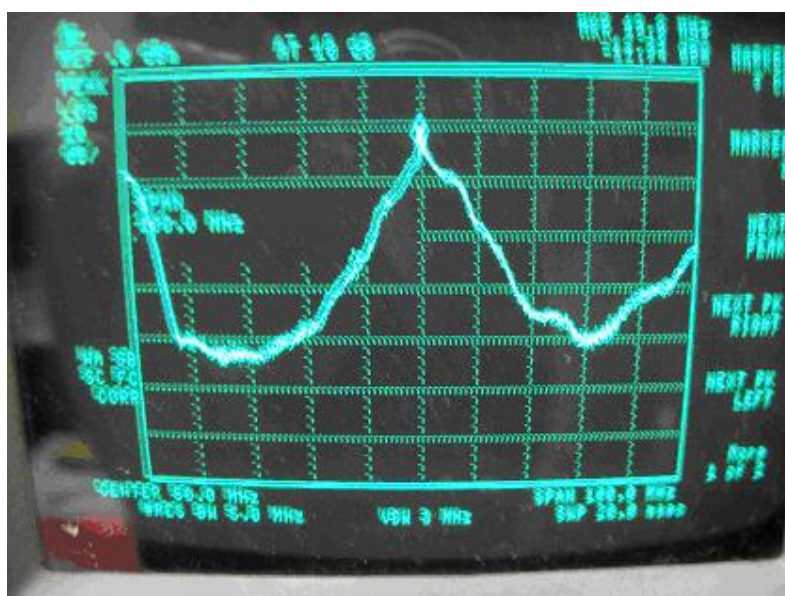


Fig 3.228 - Imagem do analisador de espectro com o sinal de saída do sistema.

4 AMBIENTE DE MEDIÇÕES E TRATAMENTO DOS DADOS

Para a realização das medidas, foi escolhido como ambiente de medição o campus da PUC / RJ, localizado no Bairro Gávea. O sistema transmissor foi instalado no CETUC, no último andar do prédio Kennedy, tendo a antena discônica fixada sobre uma haste para fora do prédio, de forma que irradiasse, sem obstrução, na direção da vegetação. A Figura 4.1, mostra a vegetação que cobre as duas rotas percorridas tendo como referência o local da instalação da antena do transmissor.



Fig 4.1 – Vista da vegetação do local de instalação da antena do transmissor.

O sistema receptor foi instalado em um veículo e a antena receptora, também discônica, como mostra a Figura 4.2, numa haste sobre o mesmo, garantindo, um sistema desobstruído por parte do móvel, ficando a vegetação e as edificações acima da antena.



Fig 4.2 – Antena do receptor instalada.

O tratamento dos dados adquiridos como o “janelamento” e limpeza de ruído dos perfis será detalhado e os resultados obtidos serão tabelados e analisados, no próximo capítulo.

4.1 AMBIENTE DE MEDIÇÕES

Dentro do ambiente escolhido foram realizadas medições em duas rotas estabelecidas, que foram representadas dentro do croqui do campus, na Figura 4.3. A primeira rota está representada em vermelho e é a rota paralela ao prédio Cardeal Leme,

denominada de PUC1. A segunda rota está representada em azul e é a rota que atravessa o rio em frente ao mesmo prédio, denominada de PUC2.

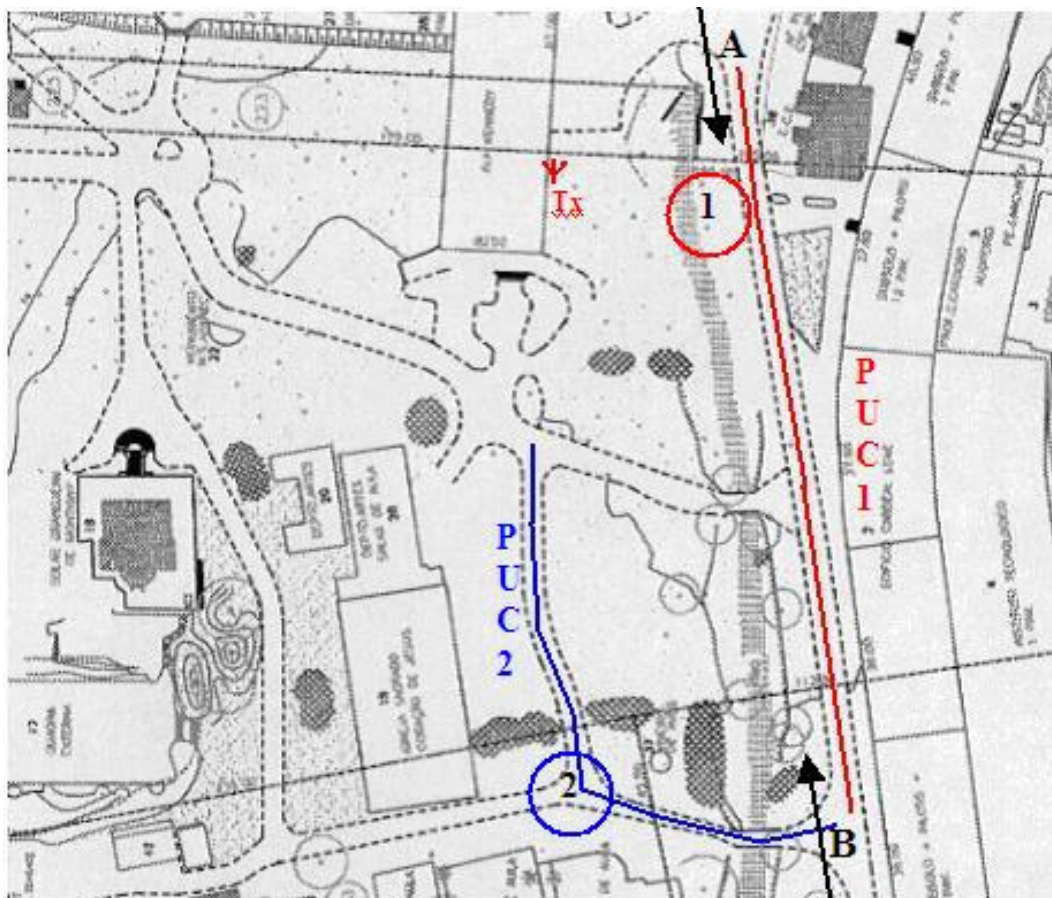


Fig 4.3 – Croqui do campus da PUC / RJ.

A rota PUC1 foi percorrida quatro vezes se afastando (percurso A) e quatro vezes se aproximando (percurso B) do transmissor. A rota PUC2 foi percorrida uma vez, se aproximando e se afastando posteriormente do transmissor sem a interrupção na aquisição dos dados.

A Figura 4.4 mostra a vista do ponto 1 da Figura 4.3, ponto este dentro da rota PUC1 onde a vegetação é menos densa, de onde é possível visualizar a antena transmissora no alto do prédio Kennedy. É uma região mais próxima do transmissor (Tx).



Fig 4.4 – Vista do prédio onde foi instalado o transmissor.

As Figuras 4.5 e 4.6 mostram respectivamente as posições perto para longe e longe para perto em relação ao transmissor. Observando a Figura 4.5, verifica-se que durante o afastamento em relação ao transmissor, o receptor se movimenta mais próximo à vegetação, ficando a antena receptora afastada dos poucos veículos estacionados e do prédio Cardeal Leme, que possui uma grande abertura no térreo com, aproximadamente, duas vezes a altura da antena receptora.

No percurso de aproximação em relação ao transmissor, a antena do receptor se movimenta próxima ao prédio e aos veículos estacionados, conforme pode ser observado na Figura 4.6. É interessante ressaltar que nesse percurso não foi possível um movimento retilíneo, haja vista a movimentação de pessoas e os veículos em movimento, o que causou ligeiras aproximações e afastamentos da vegetação e do prédio Cardeal Leme.



Fig 4.5 – Rota de afastamento em relação ao transmissor.



Fig 4.6 – Rota da aproximação em relação ao transmissor.



Fig 4.7 – Croqui do campus da PUC / RJ.

A Figura 4.7 mostra a disposição da rota PUC2, vista do ponto 2 da Figura 4.3, em direção ao Tx, sendo esta uma rota em ambiente mais aberto e com menos densidade de vegetação, sendo predominante a presença de bambu e edificações mais afastadas em comparação com a rota PUC1. A rota PUC1 é paralela ao rio e a PUC2 tem uma parte passando sobre o mesmo, conforme pode ser visto na Figura 4.3.

4.2 TRATAMENTO DOS DADOS

Os perfis de retardo de potência, obtidos a partir dos dados adquiridos, se acham contaminados com o ruído do canal e do sistema de sondagem, incluindo o ruído de correlação. Assim, uma das técnicas de limpeza de ruído deve ser empregada de forma a

identificar os multipercursos válidos em um perfil. Dentre essas técnicas, três delas são aqui discutidas.

Após a limpeza dos perfis, uma “janela” deve ser aplicada aos mesmos quando se deseja determinar sua transformada discreta, direta (DFT) ou inversa (IDFT), de forma a resultar em transformadas mais corretas, já que a DFT (ou IDFT) provoca um alargamento nas mesmas. No caso da transformada no retardo ou tempo, diz-se haver uma “fuga espectral” na mesma, já que as variáveis serão, respectivamente, frequência ou deslocamento Doppler. Assim, os dados adquiridos, separados em perfis, são limpos e, antes de qualquer aplicação de transformação discreta de Fourier, serão “janelados”. Comentários conclusivos sobre a janela adotada serão tratados neste item e deixado no apêndice D o estudo realizado com diferentes janelas para se compreender o porquê da adoção da janela de Hamming.

4.2.1 Técnicas de limpeza dos perfis e identificação dos multipercursos.

Diversas técnicas podem ser empregadas para limpeza dos perfis de retardo de potência, identificando os picos de correlação correspondentes a multipercursos válidos. Inicialmente foi pensado o emprego da técnica CLEAN empregada por Souza [14], mas optou-se por empregar as mesmas da tese de Matos [1]. Nesta última, os multipercursos válidos foram identificados como em Sousa [2] e foram calculados os parâmetros de dispersão temporais, que independem da fase do sinal de correlação recebido. Posteriormente, foi realizada a limpeza dos mesmos empregando a técnica WDen [3] nos perfis de tensão em quadratura (I e Q), obtidos dos dados processados, uma vez que a tensão complexa é necessária para o uso na transformada de Fourier, visando a manutenção da fase para a precisão do deslocamento Doppler, já que uma fase no tempo corresponde a um deslocamento na frequência.

Uma vez que Sousa [2] não faz tratamento nas fases associadas aos perfis, optou-se, neste trabalho, por empregar a técnica WDen para limpar os perfis de retardo de potência, através de uma suavização que a mesma realiza nos perfis e, em seguida, identificar os multipercursos válidos através da adoção de um limiar de ruído, como o fez Sousa. No apêndice E, entretanto, os parâmetros também são calculados fazendo uso

da técnica empregada em [2], mas supondo que a fase dos perfis não fique alterada, para fins de comparação.

4.2.1.1 Técnica CLEAN.

Esta técnica baseia-se em se obter um perfil de retardos de referência, medido em um local sem refletores, de forma que se conheça o pico de correlação referente ao percurso em visada direta, livre de multipercursos que possam alterar a forma do pico de correlação medido, único e forte. Isto porque multipercursos muito próximos e que estejam dentro da resolução mínima de multipercursos, no caso $0,1 \mu\text{s}$, vão se confundir com o percurso direto e alterar a forma do pico de correlação. Uma vez que a resolução de $0,1 \mu\text{s}$ equivale dizer somente multipercursos separados de 30 cm são identificados pela sonda, todos os multipercursos diferenciados de até 30 cm serão identificados como um único multipercurso e isto acarretará numa ligeira deformação dos picos de correlação obtidos. Como a técnica CLEAN realiza uma correlação entre cada pico de correlação do perfil obtido com o pico de referência, e só valida como multipercursos todos os picos que apresentarem essa correlação maior que determinado valor, adotado em [14] como 80%, e mais ainda, como há amostras perdidas na aquisição dos dados, que podem estar próximas desse pico, deformando-o, optou-se por descartar esta técnica neste trabalho.

4.2.1.2 Técnica de limiar de ruído.

Nesta técnica [2] o ruído térmico para cada perfil é calculado baseado na sua mediana, pois a média pode ser significativamente distorcida devido à presença de grandes amplitudes de ruído impulsivo. Como resultado, tem-se um valor para o limiar de ruído no perfil de retardos, limiar este igual ao nível da mediana das amostras do perfil, subtraído do desvio padrão do ruído térmico e acrescido de uma margem de guarda constante, de forma a separar o ruído impulsivo dos multipercursos válidos. Essa margem de guarda é largamente utilizada em sistemas radares e conhecida como CFAR (*Constant False Alarm Rate*). O valor considerado foi o mesmo de Sousa [2], para

ambiente outdoor, e igual a 5×10^{-6} , representando 0,0005% de probabilidade do ruído exceder o limiar adotado, independentemente da relação sinal/ruído.

Tomando como exemplo o perfil de retardo de potência nº 810, mostrado na Figura 4.8, verifica-se a aplicação deste método na identificação dos multipercursos válidos. O programa desenvolvido o aplica no perfil em dBm, normalizado, e posteriormente localiza as amostras no perfil em Watts, eliminando as amostras correspondentes. Os patamares correspondentes a mediana e ao limiar podem ser visualizados na Figura 4.8, nas cores preto e vermelho, respectivamente.

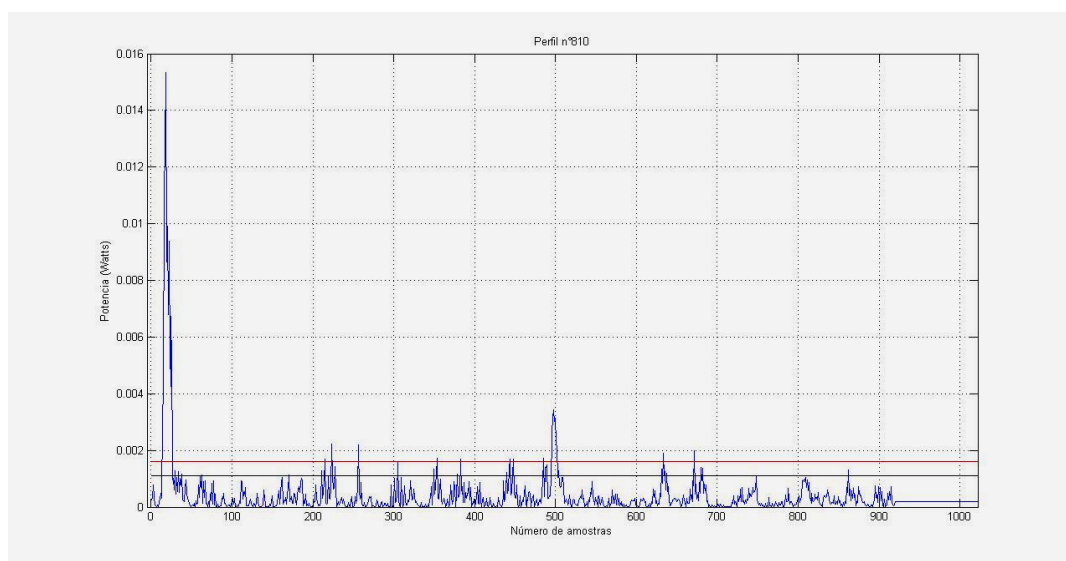


Fig 4.8 – Perfil de retardo de potência antes das identificação e limpeza.

Como consequência do processamento aplicado, os picos identificados continuam no perfil e os demais são levados ao nível da mediana, o resultado pode ser visto na Figura 4.9.

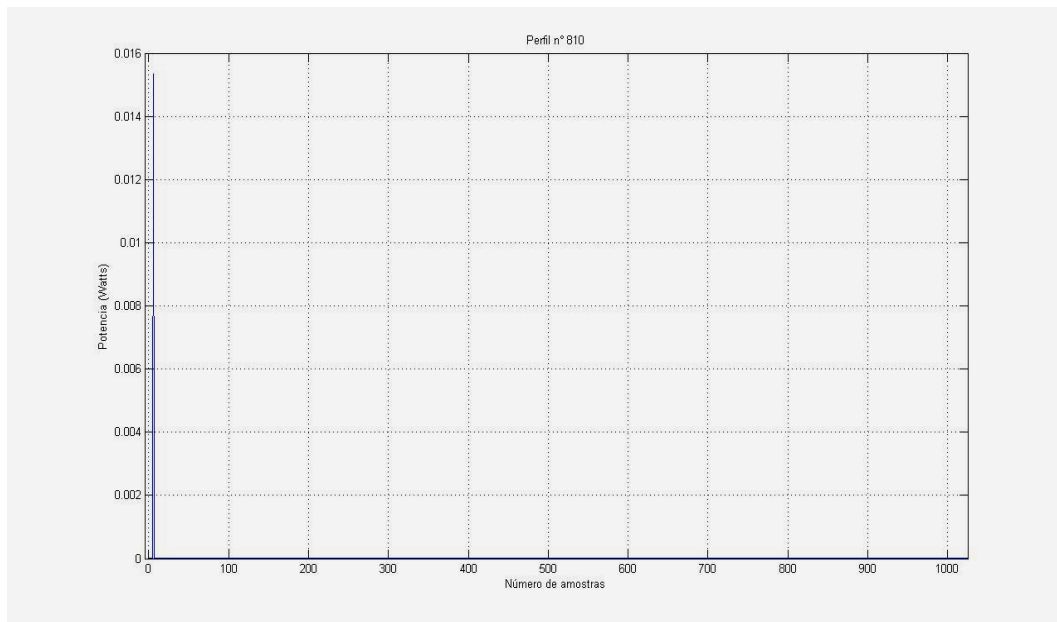


Fig 4.9 – Perfil de retardo de potência n° 810, identificado por Sousa e limpo.

A Figura 4.10 mostra o mesmo perfil com *zoom*.

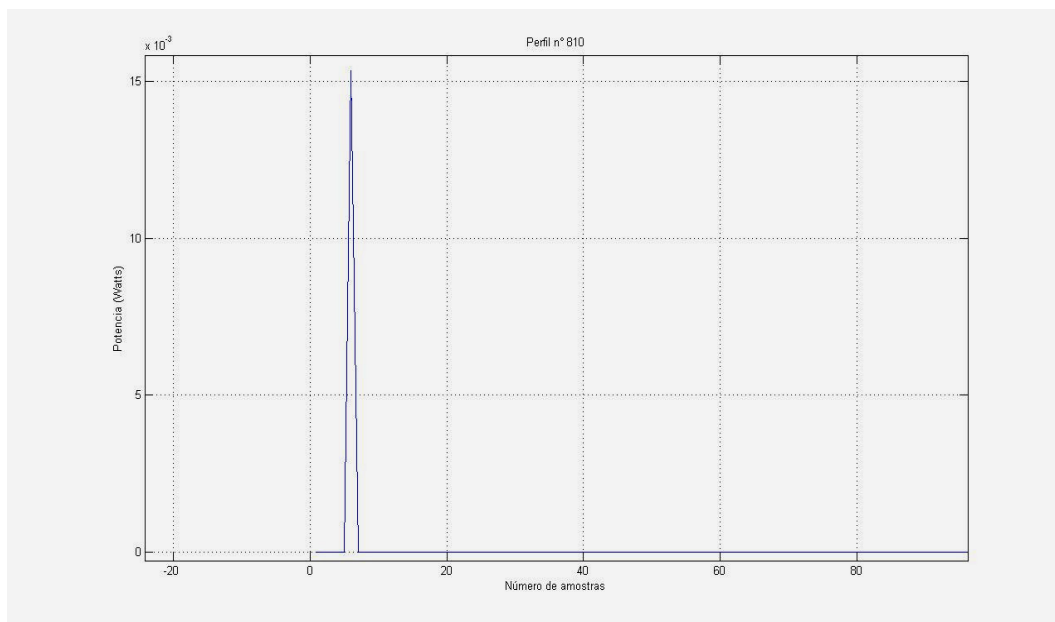


Fig 4.10 – Perfil de retardo de potência n° 810, identificado por Sousa e limpo.

4.2.1.3 Técnica *Wavelet-Based Denoising* (WDen).

Esta técnica trabalha com a supressão de ruído baseada na decomposição por *wavelets* e, no presente trabalho, foi aplicada na amplitude e fase (ramos I e Q), independentemente, já que a sua aplicação no módulo conduziu a piores resultados, segundo Dias [3]. Dentre as funções *wavelets*, as do tipo *symlet8* mostraram excelente adaptação aos sinais de perfis de potência de retardos.

Após as limpezas dos Ramos I e Q de cada perfil usando a função *wden* do Matlab [12], os picos de correlação válidos nos perfis de retardo de potência foram calculados, e os parâmetros do canal obtidos.

Tomando como exemplo o perfil de retardo de potência nº 810, mostrado na Figura 4.8, verifica-se a consequência da aplicação desta técnica na limpeza dos perfis e identificação dos multipercursos válidos. O programa desenvolvido aplica a técnica nas amostras dos Ramos I e Q, posteriormente calcula o perfil de retardo de potência, em Watts, e identifica os multipercursos usando o limiar de detecção. Os valores abaixo do limiar são levados ao nível da mediana e, posteriormente, o perfil é percorrido à procura de ruído impulsivo. Este é entendido como todo pico cujas amostras anterior e posterior a ele estejam abaixo do limiar de ruído.

O limiar é calculado para cada perfil levando em consideração a mediana do perfil e o seu desvio quartil, o que torna o limiar mais robusto em relação à presença de variações bruscas no sinal.

Como consequência do processamento aplicado, os picos identificados continuam no perfil e os demais são levados ao nível da mediana, o resultado no perfil nº 810 pode ser visto na Figura 4.11. A Figura 4.12 é um *zoom* da Figura 4.11.

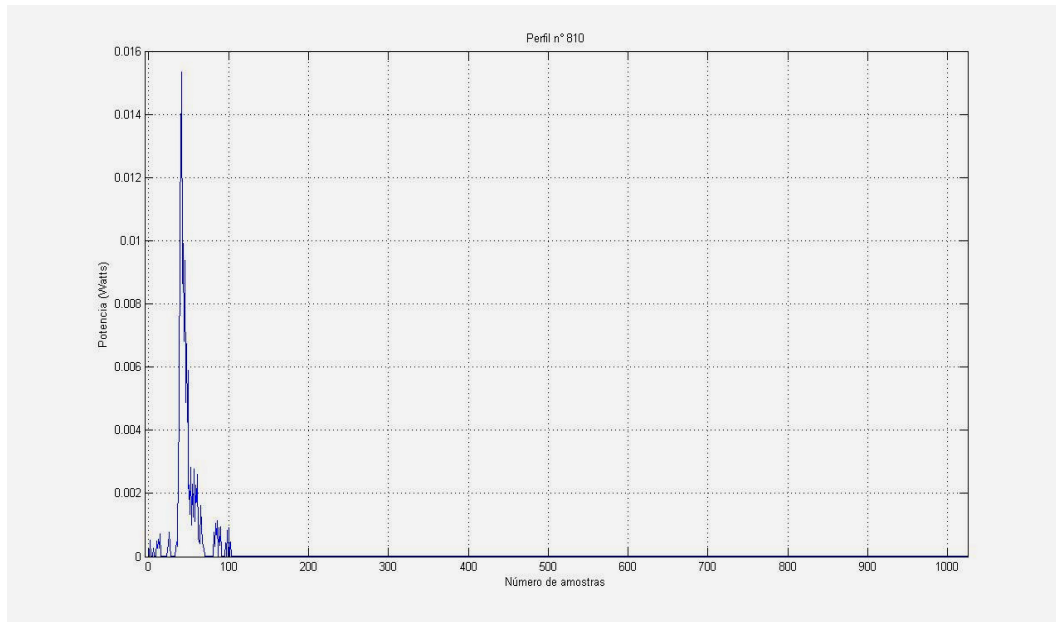


Fig 4.11 – Perfil de retardo de potência n° 810, limpo por WDen.

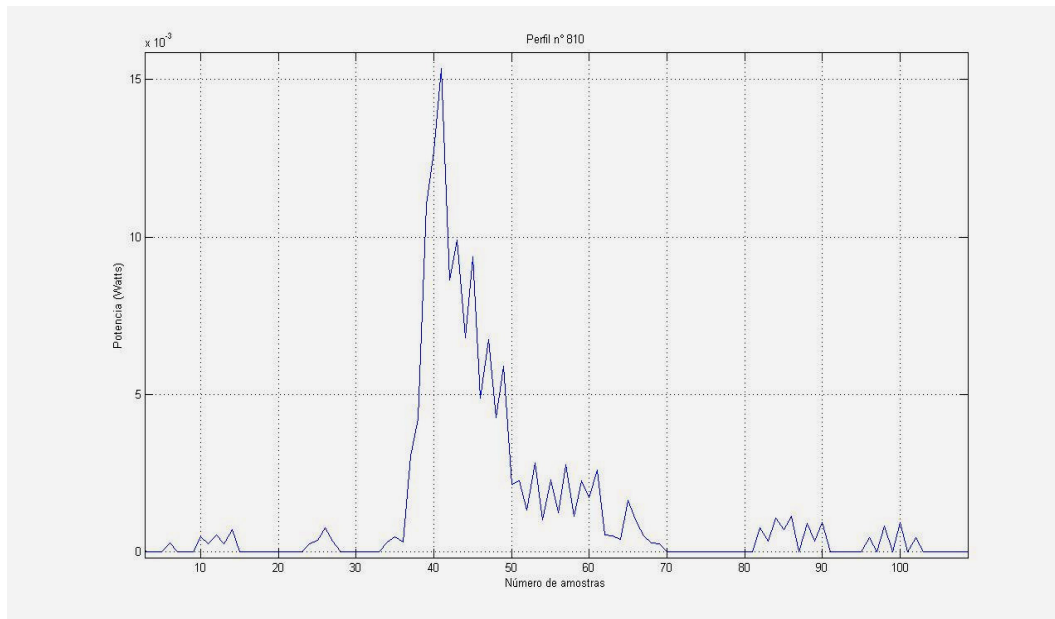


Fig 4.12 – Perfil de retardo de potência n° 810, limpo por WDen.

4.2.2 Aplicação de “janelas”

Em [11] Harris trata de uma diversidade de tipos de janelas que podem ser empregadas antes da DFT ou IDFT com o intuito de melhorar a maior precisão na transformada de Fourier calculada. No Apêndice D são tratadas três delas e, no

Apêndice E, como afetam os resultados dos parâmetros calculados. Após alguns testes optou-se pela janela de Hamming, que se mostrou menos influente nos picos de correlação dos sinais a serem transformados.

5 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

Como foi dito, a propagação de um sinal no canal radiomóvel ocorre, principalmente, através de multipercursos entre o transmissor e o receptor. Consequentemente, o sinal está sujeito a dois tipos de desvanecimentos, o de larga escala e o de pequena escala. O primeiro se manifesta através da atenuação da potência média do sinal e o segundo através de fortes variações na amplitude e fase do sinal, como um resultado de pequenas variações na separação espacial entre o transmissor e o receptor. O primeiro deles é geralmente descrito por uma função densidade de probabilidade do tipo lognormal. Em relação à análise de pequena escala, a variação da envoltória recebida é geralmente descrita por uma função densidade de probabilidade do tipo Rayleigh, se não há visibilidade entre as antenas transmissoras e receptoras, ou do tipo Rice, se há uma componente de raio direto entre as antenas.

O desvanecimento multipercurso se manifesta através da dispersão temporal do sinal, caracterizada pelo espalhamento de retardo e banda de coerência, e do comportamento do canal no tempo devido ao movimento, que se traduz através da dispersão do sinal na frequência, caracterizada pelo espalhamento Doppler e tempo de coerência.

5.1 RESULTADOS OBTIDOS

Para a obtenção dos parâmetros, determina-se para cada resposta no domínio tempo/retardo ($P_h(\eta;\xi)$) e tempo/frequência ($R_T(\eta;\Omega)$), respectivamente, o retardo médio e eficaz e a banda de coerência do canal. No domínio do deslocamento Doppler/retardo ($P_H(\mu;\xi)$) é possível se observar o espalhamento espectral sofrido pelo sinal devido a todos os multipercursos que chegam à antena receptora num mesmo retardo. No domínio Doppler/frequência ($P_H(\mu;\Omega)$) pode-se determinar tanto o deslocamento quanto o espalhamento Doppler. O tempo de coerência é obtido no domínio tempo/frequência, a partir da IDFT de $P_H(\mu;\Omega)$, na variável μ .

Os perfis de retardo de potência obtidos ao longo das rotas foram analisados e processados conforme descrito anteriormente e, como resultado desse processamento, os parâmetros do canal foram obtidos, assim como as médias, medianas e desvios padrões. Inicialmente calculou-se o retardo médio e espalhamento de retardo (retardo eficaz). Através de transformada de Fourier no domínio de retardos dos perfis adquiridos, obteve-se a banda de coerência do canal, a 90%, com sua média, mediana e desvio padrão. Os resultados do retardo médio, espalhamento de retardo e banda de coerência para 90% encontram-se na Tabela 5.1. Os perfis de retardo de potência foram processados, limpos com a técnica WDen e com alongamento para 4096 amostras e filtro de janela Hamming, permitiu o cálculo da banda de coerência. O aumento de 1022 para 4096 amostras nos perfis, para calcular a banda de coerência, permite diminuir a resolução da mesma. Nos apêndices A, B e C são apresentados os programas envolvidos nas etapas de preparação e processamento dos perfis.

Rota	Grupo	Retardo (microsegundos)						Banda de Coerencia - 90% (kHz)			Dados da Rota	
		Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	1A	2,2651	0,4869	2,3451	1,4946	0,2286	1,5293	18,8950	15,2330	19,1090	Transversal	P => L
	1B	2,3851	0,5185	2,4392	1,5122	0,2099	1,5534	17,3780	7,3472	186,2200	Transversal	L => P
	2A	2,4142	0,3075	2,4291	1,5402	0,1898	1,5632	14,7550	7,3198	17,2190	Transversal	P => L
	2B	2,4656	0,2226	2,4639	1,5001	0,1475	1,5209	18,8700	5,4730	20,6540	Transversal	L => P
	3A	2,4618	0,2952	2,4846	1,4981	0,1588	1,4981	8,0247	6,5327	4,6422	Transversal	P => L
	3B	2,3978	0,3688	2,4304	1,5203	0,1680	1,5267	13,5160	7,6035	14,8000	Transversal	L => P
	4A	0,4731	0,1088	0,4957	0,2802	0,0620	0,3038	32,2590	8,0117	28,6750	Transversal	P => L
	4B	2,4538	0,2531	2,4312	1,4221	0,1738	1,4292	90,6120	62,2370	56,2890	Transversal	L => P
PUC2	1	0,2195	0,0693	0,0902	0,1338	0,0421	0,1710	277,2200	45,3890	286,7500	Radial	P <=> L

P => L

Afastando do transmissor

L => P

Aproximando do transmissor

Tabela 5.1 – Tabela com os parâmetros do canal usando WDen para limpeza dos perfis

Através de aplicação da transformada de Fourier nos perfis de retardo, tendo sempre em mente a Figura 2.7, partindo-se de RI_h (carregando informações de amplitude e fase) chegou-se a P_H . Com o perfil de P_H , foram calculados o deslocamento e o espalhamento Doppler (Doppler eficaz), sendo obtidas, em seguida, suas respectivas médias, desvio padrão e mediana.

Com a aplicação da transformada inversa de Fourier em P_H , retorna-se a R_T , sendo possível neste ponto o cálculo do tempo de coerência, obtendo-se também sua média, desvio padrão e mediana. Os parâmetros obtidos são apresentados na Tabela 5.2.

Rota	Grupo	Deslocamento Doppler (Hz)						Tempo de Coerência - 90% (ms)			Dados da Rota	
		Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	1A	0,2622	0,0916	0,2870	0,3360	0,5283	0,1691	89,9010	15,1670	84,8640	Transversal	P => L
	1B	2,9588	3,3930	2,9588	5,3352	2,5355	4,4509	69,3790	4,7437	68,5800	Transversal	L => P
	2A	4,3637	3,7368	4,4232	5,4324	3,2072	4,3726	70,4760	24,7940	70,2200	Transversal	P => L
	2B	3,6868	3,8127	3,4831	5,1483	2,9021	4,2041	70,5830	3,5091	70,3970	Transversal	L => P
	3A	4,8961	4,2544	4,8358	6,6010	4,7567	4,8776	71,1620	2,3338	70,9440	Transversal	P => L
	3B	4,1486	4,2767	4,2116	5,5031	3,3431	4,4038	69,1740	2,2074	69,5140	Transversal	L => P
	4A	0,6051	0,3489	0,1652	0,3496	0,2911	0,2669	165,2200	33,2070	177,1200	Transversal	P => L
	4B	4,4216	4,6986	4,3395	6,8613	5,0984	5,0464	7,1113	2,9036	7,0848	Transversal	L => P
PUC2	1	-1,5859	0,1468	-1,6592	8,0080	0,3859	8,0080	5,3014	0,6965	2,9564	Radial	P <=> L

P => L

Afastando do transmissor

L => P

Aproximando do transmissor

Tabela 5.2 – Tabela com os parâmetros do canal usando WDen para limpeza dos perfis

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em pequenas distâncias (alguns comprimentos de onda), pode-se observar que os perfis de retardo de potência são praticamente iguais, portanto de médias muito próximas. Baseado em Cox [13], pode-se afirmar que, se a média dos perfis obtidos é próxima das médias individuais, os perfis são amostras de um processo aleatório, com boas condições de estacionariedade no sentido amplo, e que o perfil médio descreve o processo. Como nas rotas PUC1 e PUC2 observou-se tal fato, considerou-se o processo descrito pelos perfis de retardo de potência como um processo com boas condições de estacionariedade, e uma média pode ser calculada para cada parâmetro. Vale observar que a rota PUC1, na última medição, no sentido perto-longe, apresentou resultados discrepantes. Como houve queda e troca de bateria nesta rota e menos perfis foram tomados, preferiu-se descartá-la e pode-se dizer que a rota PUC1 apresentou um retardo médio da ordem de $2,4 \mu\text{s}$ e um espalhamento de retardo da ordem de $1,5 \mu\text{s}$, e a PUC 2, $0,2 \mu\text{s}$ e $0,13 \mu\text{s}$, respectivamente.

No que concerne à análise da dispersão na frequência, verifica-se através dos perfis Doppler obtidos, vários ângulos distintos de chegada para o sinal na antena do receptor móvel. Ressalta-se que para raios incidentes em 0° , o perfil de Doppler apontará para amplitudes próximas de $+10 \text{ Hz}$, que representa raios chegando pela frente do receptor. O mesmo ocorre para raios em -10 Hz , que representa raios chegando pela traseira do receptor. Devido à ambiguidade do sistema, já mencionada no capítulo 2, raios chegantes em 90° ou 270° terão amplitudes em 0 Hz .

Observa-se na Tabela 5.1, que o valor médio para o retardo médio é próximo de 2,5 microssegundos para a rota PUC1. Um perfil Doppler dessa rota, para retardo da ordem de 2,5 microssegundos é mostrado na Figura 5.1. É um perfil típico conhecido como perfil de “Jakes”, sendo mais forte para ângulos de 0° ($\approx 10 \text{ Hz}$) e 180° ($\approx -10 \text{ Hz}$) e mais fraco para ângulos de chegada a 90° ($\approx 0 \text{ Hz}$).

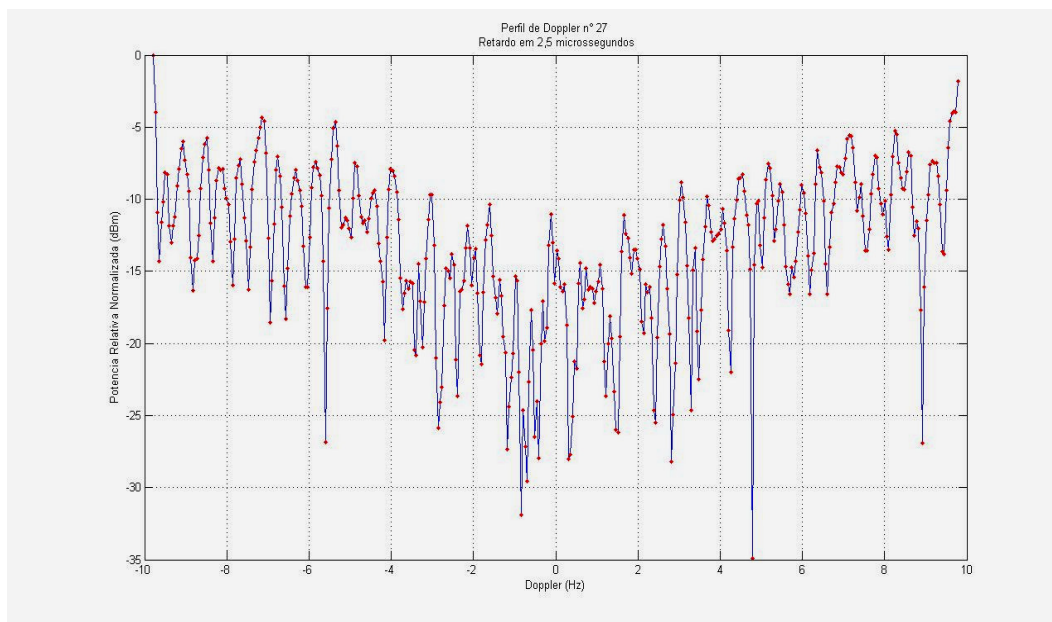


Fig 5.1 – Perfil de Doppler para retardo em 2,5 microssegundos, na rota PUC1-1A.

Outro perfil Doppler da rota PUC1, agora para sentido de longe para perto do transmissor, para retardo da ordem de 2,5 microssegundos é mostrado na Figura 5.2.

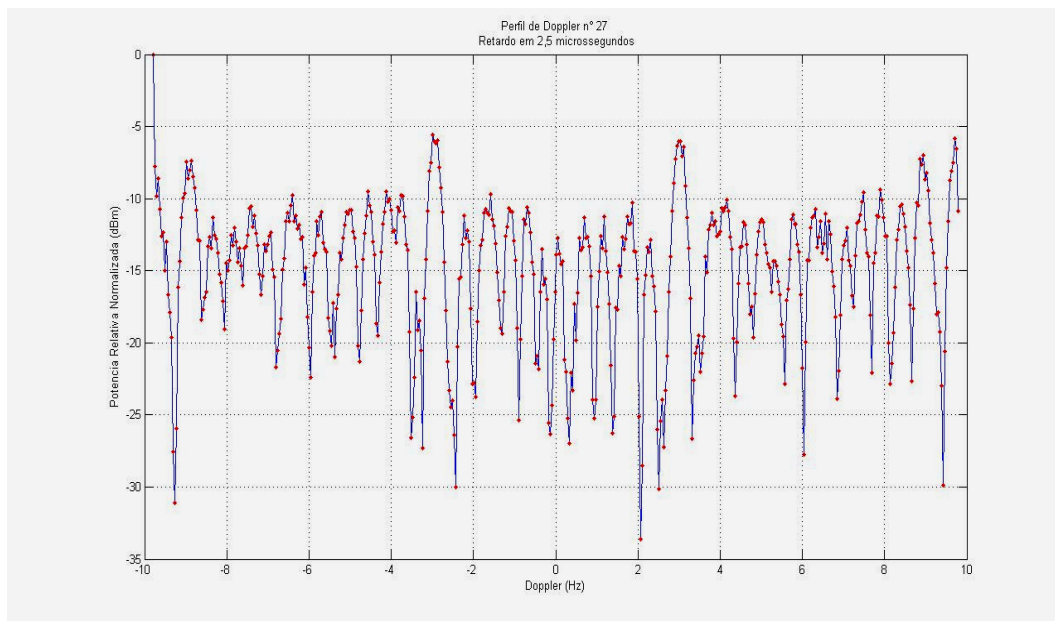


Fig 5.2 – Perfil de Doppler para retardo em 2,5 microssegundos, na rota PUC1-1B.

Observando novamente a Tabela 5.1, verifica-se que o retardo médio para a rota PUC2 é da ordem de 0,2 microssegundos, um perfil de Doppler da ordem de 0,2

microssegundos para esta rota é visto na Figura 5.3. Muito espalhamento ocorre mostrando chegada de diversos ângulos e as amplitudes estão entre -10 dB e -15 dB. Há forte espalhamento traseiro.

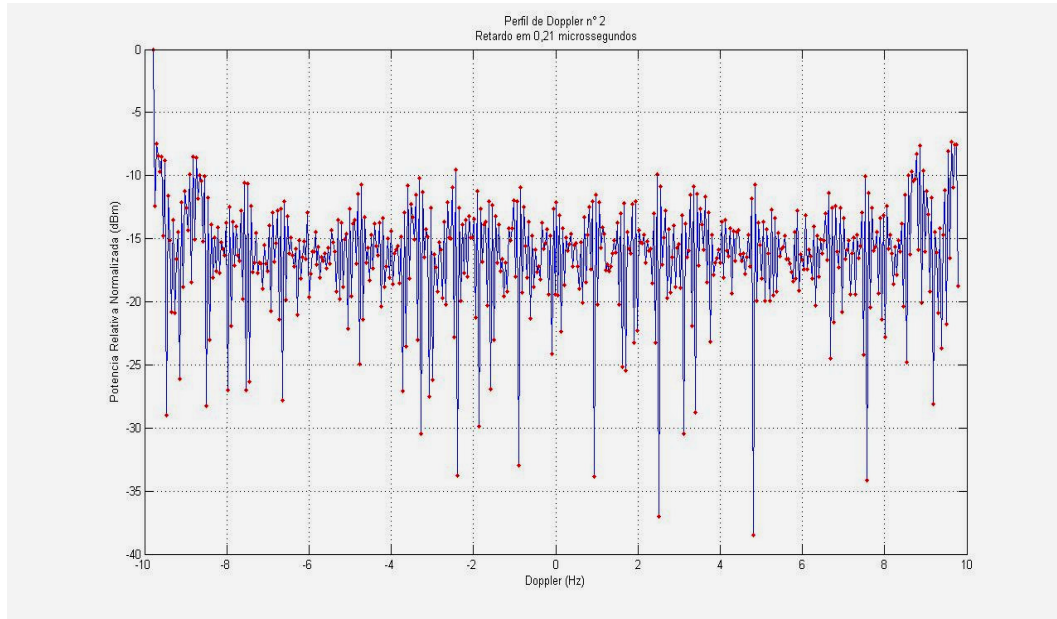


Fig 5.3 – Perfil de Doppler para retardo em 0,2 microssegundos, rota PUC2.

Um perfil Doppler da rota PUC1, sentido perto para longe do transmissor, para retardo da ordem de 0,2 microssegundos é mostrado na Figura 5.4. Neste exemplo os raios mais fortes chegam pela traseira do receptor, entre 36° (≈ 6 Hz) e 54° (≈ 4 Hz) de ângulos de chegada. Há, contudo, espalhamento em praticamente toda a rota.

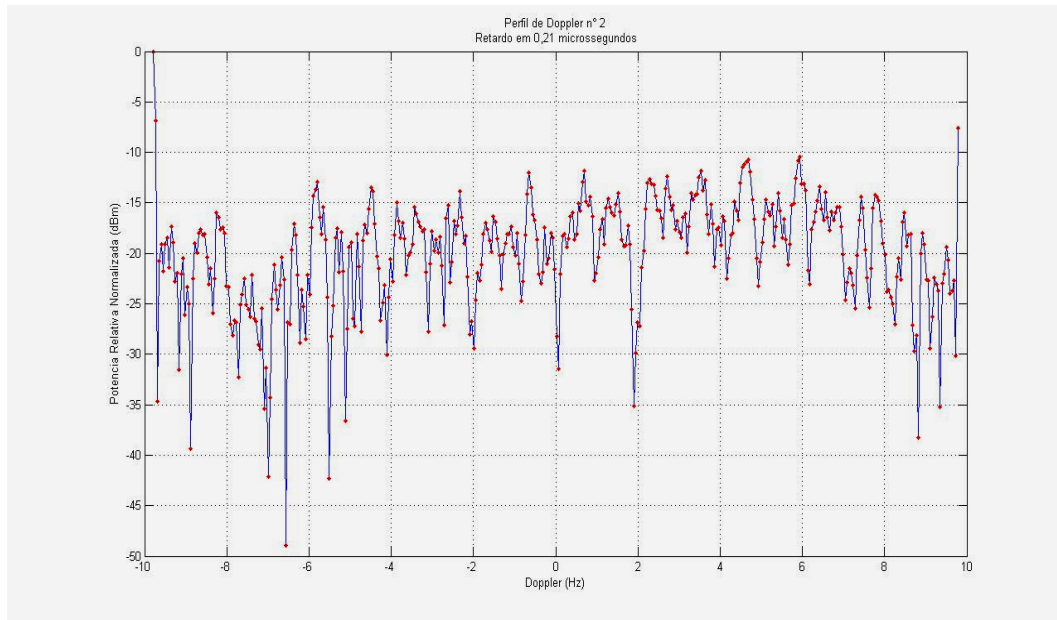


Fig 5.4 – Perfil de Doppler para retardo em 0,2 microssegundos, rota PUC1-1A.

Tomando como exemplo a Figura 5.5, onde tem-se o perfil de Doppler para a rota PUC2, com retardo em 7,9 μ s, observa-se a incidência de raios mais fortes pela frente e traseira do móvel, sendo baixos os níveis próximos de 90° (≈ 0 Hz) e 108° (≈ -2 Hz).

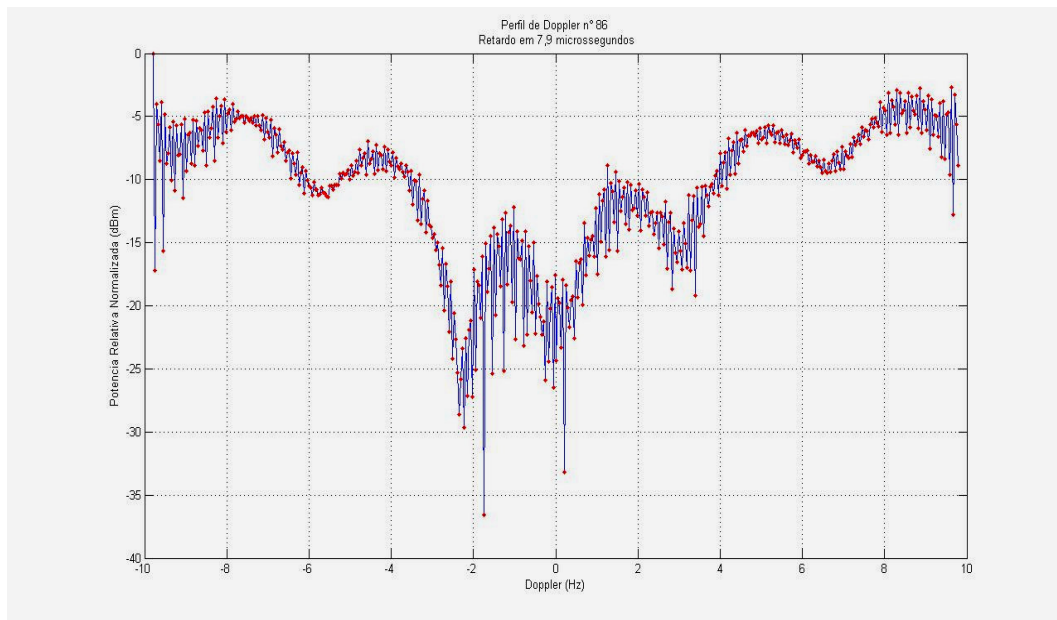


Fig 5.5 – Perfil de Doppler para retardo em 7,9 microssegundos, rota PUC2.

Para a Figura 5.6, onde tem-se o perfil de Doppler com retardo em $0,7 \mu\text{s}$, observa-se a incidência de raios mais fortes pela frente e traseira do móvel, sendo baixos os níveis próximos de 63° ($\approx 3 \text{ Hz}$) e 45° ($\approx 5 \text{ Hz}$).

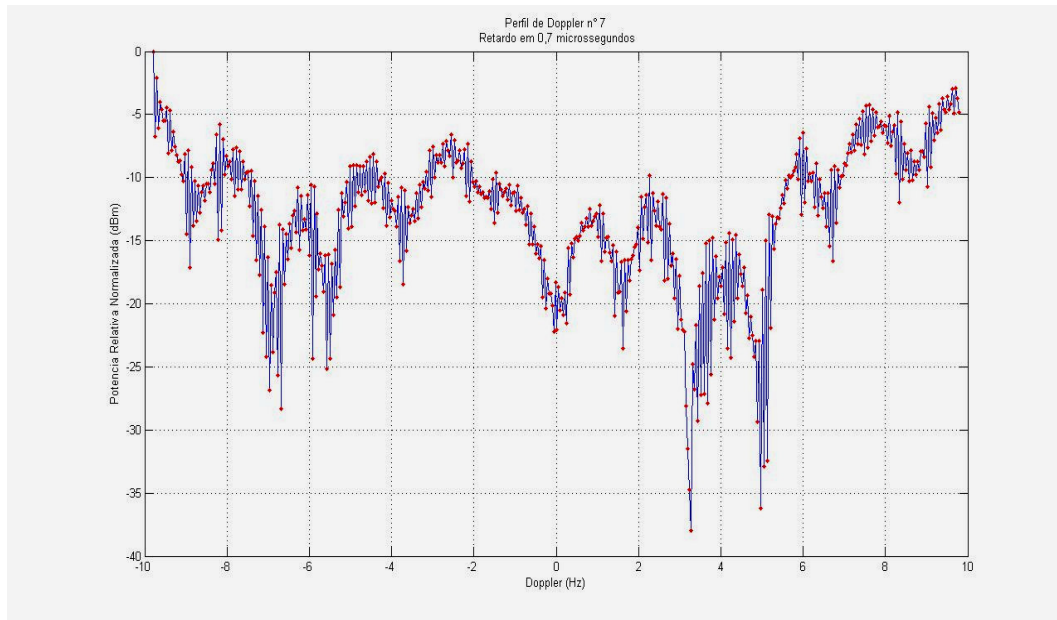


Fig 5.6 – Perfil de Doppler para retardo em 0,7 microssegundos, rota PUC2.

Analisando a Tabela 5.2, verifica-se grandes variações no deslocamento Doppler, com valores próximos a 4 Hz. Os valores do Doppler eficaz mostram variações na faixa de 0,3 Hz a 8 Hz, sendo que a média encontra-se próxima de 5 Hz. O tempo de coerência varia de 5 ms a 89,9 ms, sendo que a média encontra-se próximo de 57 ms.

Observa-se a variação inversa do tempo de coerência com o Doppler eficaz, assim como se observou na relação da banda de coerência com o retardo eficaz.

6 CONCLUSÕES

O canal radiomóvel é o principal elemento em um sistema de comunicação móvel e o responsável pelos problemas e limitações na comunicação. Para desenvolver, planejar e projetar um sistema, é necessário que se tenha informação precisa das características dos canais radiomóveis como perda no percurso, espalhamento de retardo, banda de coerência, espalhamento Doppler e tempo de coerência. O espalhamento de retardo pode ser visto como um processo de filtragem na frequência, de largura igual à banda de coerência enquanto o espalhamento na frequência pode ser visto como um processo de filtragem no tempo, cuja largura é igual ao tempo de coerência.

Baseado no que foi dito, o presente trabalho buscou caracterizar um canal radiomóvel, no mesmo ambiente usado por Matos [1] (PUC/RJ), cujas rotas não puderam ser analisadas. Buscou-se, assim, explorar o que foi sugerido na conclusão do seu trabalho, como a utilização de novas técnicas de medição, comparação das novas técnicas utilizadas e introdução do pulso de *trigger*.

Em relação à utilização do pulso de *trigger*, o mesmo demonstrou-se primordial na separação das amostras em perfis, facilitando consideravelmente a composição dos mesmos, identificando a perda de amostras pelo sistema receptor e melhorando a precisão do sistema de sondagem. Todavia não dispensou o alinhamento dos picos de correlação e não foi capaz de determinar em quais posições do perfil ocorreram as perdas das amostras, o que leva a certa imprecisão nos parâmetros medidos.

Independentemente disso houve uma melhora no cálculo de Doppler, onde foi possível fazer uma aproximação e diminuição do erro causado pela perda de amostras na aquisição dos dados. Por este fato, também erros de distância e velocidade foram corrigidos, o que possibilitou uma melhor localização do sistema receptor dentro da rota, bem como uma maior aproximação da velocidade real de deslocamento do sistema.

Em relação à utilização de técnicas de limpeza de ruído, optou-se em utilizar a WDen para a suavização do ruído no perfil, seguida da técnica empregada por Sousa, aqui chamada de técnica A, para a identificação dos multipercursos válidos.

A técnica A mostrou-se robusta o suficiente para a detecção dos multipercursos válidos, todavia uma falta de sensibilidade foi detectada quando utilizada em perfis onde os picos de correlação estavam próximos do limiar de ruído, o que afetou o resultado, enquanto a técnica WDen, aqui chamada de técnica B, mostrou-se satisfatória, mas um estudo mais detalhado na composição do limiar de detecção acarretaria em uma melhora significativa nos resultados. Em determinados perfis, verificou-se que a mesma não limpou corretamente as amostras próximas aos picos de correlação, embora a contribuição dessas amostras não tenha afetado significativamente o resultado do retardo médio, devido a sua baixa amplitude.

Em relação ao alargamento da transformada discreta de Fourier, foram testados alguns tipos de janela para amenizar tal efeito, o que pode ser visto no apêndice D. O que se observou é que as diferenças no resultado são mais sensíveis quando a curva do filtro tende a ser mais acentuada ou fechada. Diferença maior é sentida quando é utilizada a técnica A ou B para a limpeza das amostras, que afetam consideravelmente o cálculo de retardo médio e, conseqüentemente, o espalhamento de retardo.

Verificou-se que a utilização de uma taxa de amostragem menor, embora suficiente, diminuiu a aquisição de amostras ruidosas e, conseqüentemente, o valor da mediana de ruído tendeu a diminuir proporcionalmente facilitando, dessa forma, um melhor ajuste no limiar de detecção e uma maior relação sinal/ruído dentro de um perfil de retardo de potências.

Em relação aos parâmetros determinados, vale ressaltar que as rotas tiveram comprimento aproximado de 100 metros e os perfis de retardo de potência, obtidos ao longo das rotas, formaram um processo quase-estacionário, com boas condições de estacionariedade. Isto foi confirmado pela verificação do valor do retardo médio, que

permaneceu próximo dos valores encontrados para toda a rota e variações pequenas também foram encontradas para o retardo eficaz.

Todos os perfis foram processados para velocidade próxima dos 5 km/h e com expansão para 4096 amostras em relação às 1022 amostras inicialmente adquiridas. Essa expansão visou a melhoria da resolução na banda de coerência, cujo valor médio foi 57,4 kHz. Verificou-se grandes variações no deslocamento Doppler, com valores próximos a 4 Hz. Os valores do Doppler eficaz mostram variações na faixa de 0,3 Hz a 8 Hz, sendo que a média encontra-se próxima de 5 Hz. O tempo de coerência varia de 5 ms a 89,9 ms, sendo que a média encontra-se próxima de 57 ms. Reunindo esses valores médios, para fins de comparação, obtém-se a tabela a seguir, onde a primeira linha fornece os valores médios calculados nesta dissertação (X), a segunda e terceira linhas fornecem, respectivamente, as médias obtidas por Matos e Siqueira [22] em outras rotas da PUC/RJ (Y) e aqueles obtidos no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Z):

	Retardo médio	Retardo eficaz	Banda de coerência	Deslocamento Doppler	Espalhamento Doppler	Tempo de Coerência
X	2,13 μ s	1,32 μ s	57,41 KHz	2,89 Hz	5,40 Hz	56,64 ms
Y	0,10 μ s	0,12 μ s	1,28 MHz	7,05 Hz	4,70 Hz	35,10 ms
Z	1,28 μ s	1,51 μ s	390,5 KHz	2,25 Hz	1,94 Hz	53,30 ms

Tabela 6.1 – Tabela comparativa

Das medidas de Matos [22], o que se observa é que os maiores valores de espalhamento de retardo e menores valores para deslocamento e espalhamento Doppler ocorrem para ambientes com vegetação mais densa, no caso o Jardim Botânico, portanto nele a banda de coerência será menor e o tempo de coerência, maior, já que ambos variam inversamente ao espalhamento de retardo e Doppler, respectivamente. Observa-se, contudo, que o grande espalhamento ocorrido devido ao prédio Cardeal Leme, uma vez que a antena iluminava diretamente o mesmo, somado ao da vegetação, acarretou em valores de retardo médio e espalhamento de retardo maiores que aqueles obtidos por Matos nas outras rotas da PUC, onde não havia um prédio tão alto e próximo

contribuindo para as reflexões, mas apenas algumas construções baixas mais afastadas e espalhadas nas mesmas.

Comparando os resultados encontrados nas rotas observa-se que não existe uma relação constante entre o retardo eficaz e a banda de coerência, o que vem confirmar os resultados obtidos em [1], na vegetação. Observou-se, também, que na presença de forte espalhamento a resposta do canal será mais lenta.

Como sugestões para trabalhos futuros podem ser citadas:

- Realização de uma campanha de medidas, para avaliar o comportamento do canal para diferentes velocidades de deslocamento do móvel;
- Utilização de antenas direcionais no receptor para melhor caracterizar o ângulo de chegada dos multipercursos, bem como avaliar a influência do lobo de irradiação da antena nas amplitudes dos multipercursos recebidos;
- Utilização de antena discônica na transmissão e direcional na recepção, com intuito de verificar a despolarização do sinal com a presença da vegetação;
- Variação na taxa de alarme falso (CFAR) empregada na técnica de identificação dos multipercursos válidos, visando a maior precisão dos parâmetros obtidos;
- Aprimoramento das técnicas de limpeza de perfil de retardo de potência, como a variação do CFAR usado na técnica de limiar de ruído [2], para melhor adaptação em ambientes vegetados, e estudo de novas técnicas;
- Variação da antena transmissora para avaliar o ângulo de incidência do sinal nas rotas e sua correlação com os parâmetros do canal radiomóvel;
- Melhoria do sistema de sondagem, priorizando a eficiência do sistema receptor, o que pode ser conseguido com a troca da placa de aquisição e construção de uma nova interface de conexão dos cabos com a placa;
- Melhoria na aquisição dos dados para que menos amostras sejam perdidas e os valores encontrados para os parâmetros sejam mais precisos; e

- Realizar mais medições em ambientes semelhantes de forma a se buscar uma modelagem para o canal vegetação + construções, haja vista a variação dos parâmetros medidos com a mudança do ambiente de medição.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MATOS, L.J., **Influência da vegetação na dispersão dos sinais rádio-móveis**, Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Setembro de 2005.
- 2 SOUSA, E.S., **Delay Spread Measurements for the Digital Cellular Channel in Toronto**, IEEE Transactions on Vehicular Technology, v.43, n.04, p.837-847, November 1994.
- 3 DIAS, M.H.C. and SIQUEIRA, G.L., **On the Use of Wavelet-Based Denoising to Improve Power Delay Profile Estimates from 1.8 GHz Indoor Wideband Measurements**, Wireless Personal Communications, Hpringer 2005, p. 153-175
- 4 PARSONS, J.D., **The Mobile Radio Propagation Channel**, John Wiley & Sons, 2ª edição, 2000.
- 5 BELLO, P.A., **Characterization of Randomly Time-Variant Linear Channels**, IEEE Transactions on Communications, v.11, n.04, p.360-393, Dezembro 1963.
- 6 YACOUB, M.D., **Foundations of Mobile Radio Engineering**, CRC Press; 1ª edição, 2000.
- 7 RAPPAPORT, T.S., **Wireless Communications Principle and Pratices**, 1.ed, New Jersey, Prentice-Hall, 1996.

- 8 SKLAR, B., **Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communications System**, Part 1: Characterization, IEEE Communications Magazine, p.90-100, July 1997.
- 9 MATOS, L.J., SIQUEIRA G.L., NEVES, F.F., **Wideband Sounding System with Improved Dynamic Range Transmitter**, 12° SBMO – Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e 7° CBMAG – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, Belo Horizonte, Agosto de 2006.
- 10 NEVES, F.F., **Projeto de uma sonda para medições de sinais rádio-móveis faixa larga em 1.88 GHz**, Monografia de fim de curso, Universidade Federal Fluminense, março de 2004.
- 11 HARRIS, F.J., **On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform**, Proceedings of the IEEE, v. 66, n. 01, January 1978.
- 12 **The Student Edition of Matlab**, Version 4, The Math Works Inc., New Jersey, Prentice Hall, 1995.
- 13 COX, D.C., **Delay-Doppler Characteristics of Multipath Propagation at 910 MHz in a Suburban Mobile Radio Environment**, IEEE Transactions Antennas Propagations, v. 20, n. 09, September 1972.
- 14 SOUZA, C.F., **Análise da dispersão temporal de canais de banda ultralarga (UWB) através de medidas realizadas em ambientes internos e externos**, 251 fl., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, julho de 2006.
- 15 MACÊDO, L.H., **Sondagem em frequência do canal indoor de faixa larga**, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Fevereiro de 2002.
- 16 VÁSQUEZ, E.J.A., **Caracterização do canal móvel em faixa larga**, Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Abril de 2000.

- 17 NEWHALL, W.G., SALDANHA, K., RAPPAPORT, T.S., **Using RF Channel Sounding Measurements to Determine Delay Spread and Path Loss**, RF Propagation, pp.82-88, January 1996.
- 18 NEWHALL, W.G, RAPPAPORT, T.S., SWEENEY, D.G., **A Spread Spectrum Sliding Correlator System for Propagation Measurements**, RF Spread Spectrum, pp.40-54, April 1996.
- 19 DEVASIRVATHAM, D.M.J., **Time Delay Spread and Signal Level Measurements of 850 MHz Radio Waves in Building Environments**, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.34, N.11, pp. 1300-1305, November 1986.
- 20 , **Special Issue on Mobile Radio Propagation**, IEEE Trans. Vehic. Tech., vol. 37, N.1, 1988.
- 21 SEKER, S.S., SCHNEIDER, A., **Experimental Characterisation of UHF Radiowave Propagation Through Forests**, IEE Proceedings-H, vol. 140, No.5, pp.329-335, October 1993.
- 22 MATOS, L.J., SIQUEIRA, G.L., **A Comparison of Dispersion Parameters in LOS and NLOS Vegetated Channel**, 11th URSI Commission F Triennial Open Symposium on Radio Wave Propagation and Remote Sensing, Abstract Book, ISBN 9788587926265.

APÊNDICES

APÊNDICE A: *preparacao.m* – Programa para organização e limpeza dos perfis

Antes da utilização do programa *preparação.m* se faz necessário à verificação dos dados adquiridos com o intuito de verificar a estacionariedade da rota e se a perda de amostras foi acentuada e comprometeu o perfil analisado.

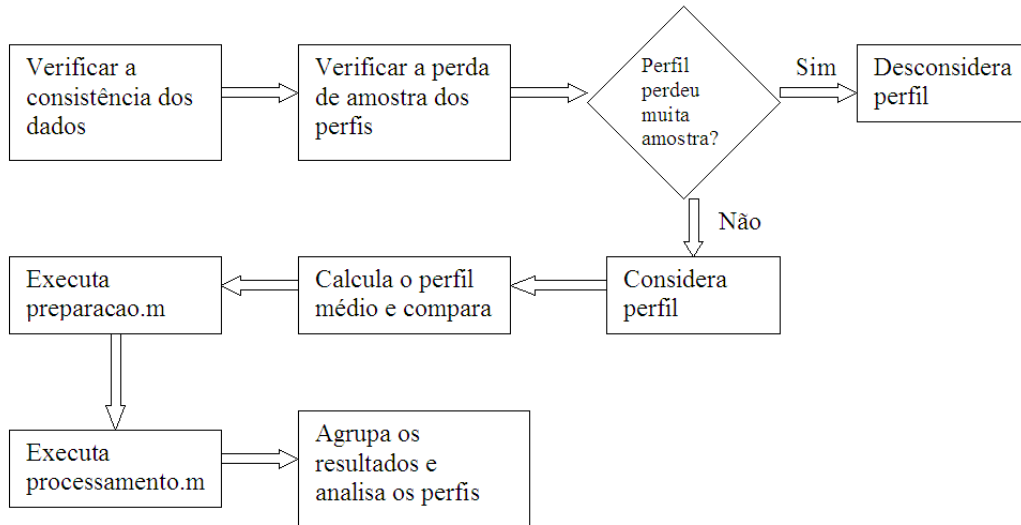


Fig A.9 – Fluxograma de execução dos programas

Programa *preparação.m*:

```
% Programa para preparacao dos perfis (preparacao.m)
% Preparacao.m é o programa que organiza e prepara os perfil na memória.
% Posteriormente o programa de processamento (processamento.m) realiza a limpeza
% dos perfis que possuem movimento e os calculos necessarios.
close all
clear all
clc;

NAmostras = 1022; % Define o numero de amostras esperada para cada perfil

% Selecionando o nome do arquivo de dados a ser carregado para o devido
% tratamento
posicao = 0;
while (posicao == 0)
    diretorio = what;
    lista_diretorio = (diretorio.mat);
    [posicao,selecao] = listdlg('PromptString','Selecione o arquivo:',...
        'SelectionMode','Single','ListString',lista_diretorio);
    if (selecao ~= 0)
        nomedoarquivo = char(lista_diretorio(posicao));
        extensao = findstr(nomedoarquivo,'mat');
        if (extensao >= 1)
            load(nomedoarquivo);
        else
            msgbox('Nao é uma extensão de arquivo válido', 'AVISO');
            break;
        end
    end
end
```

```

    end
end
clear posicao diretorio lista_diretorio selecao extensao;
clc;

% Verificando a consistencias dos dados armazenados, encerra a execucao
% caso apresente diferenca nos vetores de armazenamento de dados
if ((length(I)~=length(Q))||(length(T)~=length(D))||(length(Q)~=length(T)))
    warndlg ('Os vetores tem armazenamento de dados tem tamanhos diferentes','...
    'ATENÇÃO');
    exit;
end

% Separando os perfis por estrutura para o devido tratamento. Todos os
% perfis serão identificados e suas informações alocadas dentro da
% estrutura de memória identificada por:

%     vetorperfil(quantidade).(nomedocampo)(tamanhodocampo)

% Dessa forma cada perfil será tratado independentemente

% Numero de amostra de cada perfil será a taxa de amostragem (20kbps) x o
% tempo de duração de cada perfil
% Para a campanha de medição realizada, cada perfil deverá ter
% 20kps x 51,1ms = 1022 amostras (511 + 511 => trigger)
tamanho_rota = length (T);

% Determinando o numero de perfis da rota e armazenando na estrutura
% "vetorperfil"
% "vetorperfil().TA" armazena a última amostra da
% "parte alta" do trigger e consequentemente o numero de amostras dela.
% "vetorperfil().TB" armazena o número de amostras da "parte baixa" do trigger.
% Na mesma rotina os pulsos da roda serão processados e limpos para
% posterior processamento
numerodeperfis_prep = 0;
contador_perfis = 2;
while (contador_perfis < tamanho_rota)
    amostra_inicial_perfil = 0;
    amostra_final_perfil = 0;
    amostra_intermediaria_perfil = 0;
    if ((T(contador_perfis - 1) < 2) && (T(contador_perfis) > 2))
        numerodeperfis_prep = numerodeperfis_prep + 1;
        amostra_inicial_perfil = contador_perfis;
        vetorperfil(numerodeperfis_prep).identificador = numerodeperfis_prep;
        contador = contador_perfis + 1;
        while ((contador < tamanho_rota) && (amostra_final_perfil == 0))
            if ((T(contador - 1) > 2) && (T(contador) < 2))
                vetorperfil(numerodeperfis_prep).TA = (contador - amostra_inicial_perfil);
                amostra_intermediaria_perfil = contador-1;
            end
            if ((T(contador) < 2) && (T(contador + 1) > 2))
                amostra_final_perfil = contador;
            end
            contador = contador + 1;
        end
    end
    if ((amostra_inicial_perfil ~= 0) && (amostra_final_perfil ~= 0))
        posicao = 1;
        vetorperfil(numerodeperfis_prep).numerodeamostras =...
            (amostra_final_perfil - amostra_inicial_perfil + 1);
        vetorperfil(numerodeperfis_prep).TB = vetorperfil(numerodeperfis_prep).numerodeamostras...
            - vetorperfil(numerodeperfis_prep).TA;
        for contador = amostra_inicial_perfil:amostra_final_perfil,
            vetorperfil(numerodeperfis_prep).RamoI(posicao) = I(contador);
            vetorperfil(numerodeperfis_prep).RamoQ(posicao) = Q(contador);
            vetorperfil(numerodeperfis_prep).Trigger(posicao) = T(contador);
            vetorperfil(numerodeperfis_prep).Posicao(posicao) = D(contador);
        end
        % Pego a média de 5 pontos antes da transição do trigger e 5 pontos após,
        % calculo a média e subtraio uma da outra para obter a diferença de tensão
        % causada pelo trigger no sinal do pulso da roda. Desta forma a
        % "interferencia" é minimizada de forma que o sinal fique mais contínuo,
        % possibilitando eliminar as variações bruscas de tensão.
        ajuste = mean (D(amostra_intermediaria_perfil-5:amostra_intermediaria_perfil)) -...
            mean (D(amostra_intermediaria_perfil+1:amostra_intermediaria_perfil+6));
        if (posicao <= vetorperfil(numerodeperfis_prep).TA)
            vetorperfil(numerodeperfis_prep).Posicao(posicao) = (D(contador) - ajuste);
        end
    end
end

```



```

        else
            vetorperfil(nerodeperfis_prep).Posicao(posicao) = D(contador);
        end
        posicao = posicao + 1;
    end
    contador_perfis = amostra_final_perfil + 1;
% Elimina a variacao no nível DC do sinal de pulso da roda causado pelo
% aumento de velocidade do veículo.
    normaliza = min (vetorperfil(nerodeperfis_prep).Posicao(:));
    vetorperfil(nerodeperfis_prep).Posicao(:) = vetorperfil(nerodeperfis_prep).Posicao(:) - normaliza;
    else
        contador_perfis = contador_perfis + 1;
    end
end
clear amostra_inicial_perfil amostra_final_perfil amostra_intermediaria_perfil contador_perfis contador posicao ajuste normaliza;

% Eliminando ruído impulsivo nos ramos I e Q.
for contador = 1:nerodeperfis_prep,
    for deslocador = 2:(vetorperfil(contador).nerodeamostras - 1),
        if ((vetorperfil(contador).RamoI(deslocador-1) ==...
            vetorperfil(contador).RamoI(deslocador+1))&&...
            ((vetorperfil(contador).RamoI(deslocador) ~=...
            vetorperfil(contador).RamoI(deslocador+1))))
            vetorperfil(contador).RamoI(deslocador) = vetorperfil(contador).RamoI(deslocador-1);
        end
        if ((vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador-1) ==...
            vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador+1))&&...
            ((vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador) ~=...
            vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador+1))))
            vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador) = vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador-1);
        end
    end
end
% Calculando a Potencia do Perfil de Retardo.
for contador = 1:(nerodeperfis_prep-1),
    for deslocador = 1:(vetorperfil(contador).nerodeamostras-1),
        vetorperfil(contador).Potencia(deslocador) = (vetorperfil(contador).RamoI(deslocador)^2)+...
            (vetorperfil(contador).RamoQ(deslocador)^2);
    end
end
clear contador deslocador;

% Elimina o patamar de ruído do sinal de pulso da roda, uma vez que o
% mesmo está ajustado e normalizado e posteriormente identifica os perfis
% que possuem movimento.
for contador = 1:(nerodeperfis_prep-1),
    for deslocador = 1:(vetorperfil(contador).nerodeamostras-1),
        if (vetorperfil(contador).Posicao(deslocador) <= 0.15)
            vetorperfil(contador).Posicao(deslocador) = 0;
        else
            vetorperfil(contador).Posicao(deslocador) = 2.8;
        end
    end
end
% Caso seja encontrados valores discrepantes, causados por perdas de
% amostras, essas amostras serão substituídas
for deslocador = 2:(vetorperfil(contador).nerodeamostras-6),
    if ((vetorperfil(contador).Posicao(deslocador) ~=...
        vetorperfil(contador).Posicao(deslocador-1)))
        if (mean (vetorperfil(contador).Posicao((deslocador+1):(deslocador+6))) > 0)
            vetorperfil(contador).Posicao(deslocador) = 2.8;
        end
    end
end
end
end

% Caso seja detectado que a parte alta ou a parte baixa do trigger tenha
% perdido amostras, novas amostras com o valor mínimo da rota serão
% acrescentadas, no início e no fim do perfil, de acordo com a quantidade
% perdida em cada parte do trigger. Desta forma todos os perfis terão nerodeamostras
% amostras, tendo 511 na parte alta e 511 na parte baixa. Caso alguma parte
% do trigger tenha mais de 511 amostras, será invalidade ficando 511
% amostras com valor mínimo, o mesmo ocorre com todo o perfil caso as duas
% partes do trigger contenha mais de 511 amostras por parte.
clc;
disp ('Numero de perfis da rota '); disp (nerodeperfis_prep);
for contador = 1:(nerodeperfis_prep - 1),

```

```

mediana_da_amplitude = median (vetorperfil(contador).RamoI(:));
mediana_da_fase = median (vetorperfil(contador).RamoQ(:));
mediana_do_perfil = median (vetorperfil(contador).Potencia(:));
for deslocador = 1:Namostras,
    vetorperfil(contador).PAjustado(deslocador) = mediana_do_perfil;
    vetorperfil(contador).RamoIAjustado(deslocador) = mediana_da_amplitude;
    vetorperfil(contador).RamoQAJustado(deslocador) = mediana_da_fase;
    vetorperfil(contador).PosicaoAJustado(deslocador) = 0;
    vetorperfil(contador).TriggerAJustado(deslocador) = 0;
end
if ((vetorperfil(contador).TA <= 511)&&(vetorperfil(contador).TB <= 511))
    for deslocador = 1:511,
        if (vetorperfil(contador).TA >= deslocador)
            vetorperfil(contador).PAjustado(512-deslocador) =...
                vetorperfil(contador).Potencia((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
            vetorperfil(contador).RamoIAjustado(512-deslocador) =...
                vetorperfil(contador).RamoI((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
            vetorperfil(contador).RamoQAJustado(512-deslocador) =...
                vetorperfil(contador).RamoQ((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
            vetorperfil(contador).PosicaoAJustado(512-deslocador) =...
                vetorperfil(contador).Posicao((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
            vetorperfil(contador).TriggerAJustado(512-deslocador) =...
                vetorperfil(contador).Trigger((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
        end
        if (vetorperfil(contador).TB >= deslocador)
            vetorperfil(contador).PAjustado(511+deslocador) =...
                vetorperfil(contador).Potencia((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
            vetorperfil(contador).RamoIAjustado(511+deslocador) =...
                vetorperfil(contador).RamoI((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
            vetorperfil(contador).RamoQAJustado(511+deslocador) =...
                vetorperfil(contador).RamoQ((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
            vetorperfil(contador).PosicaoAJustado(511+deslocador) =...
                vetorperfil(contador).Posicao((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
            vetorperfil(contador).TriggerAJustado(511+deslocador) =...
                vetorperfil(contador).Trigger((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
        end
    end
else
    for deslocador = 1:511,
        if ((vetorperfil(contador).TA < 511)&&(vetorperfil(contador).TB > 511))
            if (vetorperfil(contador).TA >= deslocador)
                vetorperfil(contador).PAjustado(512-deslocador) =...
                    vetorperfil(contador).Potencia((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
                vetorperfil(contador).RamoIAjustado(512-deslocador) =...
                    vetorperfil(contador).RamoI((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
                vetorperfil(contador).RamoQAJustado(512-deslocador) =...
                    vetorperfil(contador).RamoQ((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
                vetorperfil(contador).PosicaoAJustado(512-deslocador) =...
                    vetorperfil(contador).Posicao((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
                vetorperfil(contador).TriggerAJustado(512-deslocador) =...
                    vetorperfil(contador).Trigger((vetorperfil(contador).TA+1) - deslocador);
            end
            elseif ((vetorperfil(contador).TA > 511)&&(vetorperfil(contador).TB < 511))
                if (vetorperfil(contador).TB >= deslocador)
                    vetorperfil(contador).PAjustado(511+deslocador) =...
                        vetorperfil(contador).Potencia((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
                    vetorperfil(contador).RamoIAjustado(511+deslocador) =...
                        vetorperfil(contador).RamoI((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
                    vetorperfil(contador).RamoQAJustado(511+deslocador) =...
                        vetorperfil(contador).RamoQ((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
                    vetorperfil(contador).PosicaoAJustado(511+deslocador) =...
                        vetorperfil(contador).Posicao((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
                    vetorperfil(contador).TriggerAJustado(511+deslocador) =...
                        vetorperfil(contador).Trigger((vetorperfil(contador).TA) + deslocador - 1);
                end
            end
        end
    end
clear contador deslocador minimo_da_rota mediana_da_fase mediana_da_amplitude mediana_do_perfil;

% Detectando os perfil de inicio e fim de movimento
perfil_inicial = 0; % Número do perfil inicial
for contador = 1:(numereodeperfis_prep-1),
    vetorperfil(contador).velocidade_media = 0;
    vetorperfil(contador).distancia = 0;
end

```

```

% Identificando o perfil com inicio do movimento
if ((perfil_inicial == 0)&&(mean(vetorperfil(contador).PosicaoAjustado(:)) > 0.2))
    soma = 0;
    for cont = 1:5,
        soma = soma + mean(vetorperfil(contador+cont).PosicaoAjustado(:));
    end
    if (soma > 7) % Elimina "ruído" que não retrata início de movimento
        perfil_inicial = contador;
    end
end
end
perfil_final = 0; % Número do perfil final
contador = numerodeperfis_prep - 1;
while ((perfil_final == 0)&&(contador > perfil_inicial)),
    if (mean(vetorperfil(contador).PosicaoAjustado(:)) > 0.2)
        soma = 0;
        for cont = -5:-1,
            soma = soma + mean(vetorperfil(contador+cont).PosicaoAjustado(:));
        end
        if (soma > 7) % Elimina "ruído" que não retrata fim de movimento
            perfil_final = contador;
        end
    end
    contador = contador - 1;
end
if ((perfil_final == 0)&&(perfil_inicial == 0))
    warndlg ('Nao foi armazenado as informacoes do pulso da roda');
    exit;
end

% Para calcular a velocidade média de deslocamento sera armazenado a amostra do
% primeiro perfil onde houve transição ascendente do pulso da roda e
% posteriormente procurado a proxima transição descendente. A partir deste
% ponto sera calculada a velocidade dentro do pulso "alto" (837,8/NA)e
% armazenado na variavel velmed1, onde NA é o numero de amostras encontrado.
% Posteriormente sera procurado a proxima transicao ascendente, quando
% encontrada será armazenado e calculada a velocidade dentro do pulso "baixo"
% (1675,6/NA)e armazenado na variavel velmed2.
% Neste ponto sera calculada a velocidade media por media aritmetica de velmed1 e
% velmed2 e posteriormente armazenada dentro dos perfis utilizados para o
% calculo do Doppler.
NP_inicial = perfil_inicial;
NP_inter = 0;
NP_inter_amostra = 1;
% Procuro caso ascendente (procura por NP_inicial)
NP_inicial_amostra = 1;
for deslocador = 1:(NAmostras-1),
    if ((NP_inicial_amostra == 1)&&(vetorperfil(perfil_inicial).PosicaoAjustado(deslocador)...
        < vetorperfil(perfil_inicial).PosicaoAjustado(deslocador+1)))
        NP_inicial_amostra = deslocador+1;
    end
end
% Uma vez que tenho a amostra inicial do primeiro perfil em movimento,
% passo a procurar as transições e calcular as velocidades
for contador = perfil_inicial:perfil_final,
    % Procurando as transições que ocorrem no início do perfil. Existem duas
    % possibilidade tratadas aqui, ocorre transição ascendente ou descendente.
    if (vetorperfil(contador-1).PosicaoAjustado(NAmostras) ~= vetorperfil(contador).PosicaoAjustado(1))
        if (vetorperfil(contador).PosicaoAjustado(1) > 0) % Testando se é ascendente
            % Se é fim de perfil, calculo velmed2
            if ((NP_inter ~= 0)&&((NP_inter < contador)||...
                (NP_inter == contador && deslocador > NP_inter_amostra)))
                NP_final = contador;
                NP_final_amostra = 1;
                velmed1 = (837.8 ./ (abs((((NP_inter*NAmostras) + NP_inter_amostra)-...
                    ((NP_inicial*NAmostras) + NP_inicial_amostra)))));
                velmed2 = (1675.6 ./ (abs((((NP_final*NAmostras) + NP_final_amostra)-...
                    ((NP_inter*NAmostras) + NP_inter_amostra)))));
            % Atualizo o valor da velocidade nos perfis envolvidos
            for (cont = NP_inicial:NP_final)
                vetorperfil(cont).velocidade_media = ((velmed1 + velmed2)./2);
            end
            NP_inicial = NP_final;
            NP_inicial_amostra = NP_final_amostra;
            NP_inter = 0;
        end
    end
end

```

```

        else % Testando se é descendente
            NP_inter = contador;
            NP_inter_amostra = 1;
        end
    end
% Procurando as transições que ocorrem nos demais pontos do perfil
% Procuro caso descendente
for deslocador = 2:NAmostras,
    if ((NP_inter == 0)&&(vetorperfil(contador).PosicaoAjustado((NAmostras + 2)-deslocador)...
        < vetorperfil(contador).PosicaoAjustado((NAmostras + 1)-deslocador)))
        NP_inter = contador;
        NP_inter_amostra = (NAmostras + 2) - deslocador;
    end
end
% Procuro caso ascendente (procura por NP_final)
for deslocador = 2:NAmostras,
    if ((NP_inter ~= 0)&&(vetorperfil(contador).PosicaoAjustado((NAmostras + 2)-deslocador)...
        > vetorperfil(contador).PosicaoAjustado((NAmostras + 1)-deslocador)))
        if ((contador > NP_inter)||((contador == NP_inter)&&(((NAmostras + 2)-deslocador)...
            > NP_inter_amostra)))
            NP_final = contador;
            NP_final_amostra = (NAmostras + 2) - deslocador;
            velmed1 = (837.8 ./ (abs(((NP_inter*NAmostras) + NP_inter_amostra)...
                -((NP_inicial*NAmostras) + NP_inicial_amostra))));
            velmed2 = (1675.6 ./ (abs(((NP_final*NAmostras) + NP_final_amostra)...
                -((NP_inter*NAmostras) + NP_inter_amostra))));
% Atualizando o valor da velocidade nos perfis
            for (cont = NP_inicial:NP_final)
                vetorperfil(cont).velocidade_media = ((velmed1 + velmed2)/2);
            end
            NP_inicial = NP_final;
            NP_inicial_amostra = NP_final_amostra;
            NP_inter = 0;
            for cont = 2:NAmostras,
                if (((NAmostras + 2)-cont) > NP_inicial_amostra)&&...
                    (vetorperfil(contador).PosicaoAjustado((NAmostras + 2)-cont)...
                    < vetorperfil(contador).PosicaoAjustado((NAmostras + 1)-cont)))
                    NP_inter = contador;
                    NP_inter_amostra = (NAmostras + 2) - cont;
                end
            end
        end
    end
end
clear velmed1 velmed2 NP_inicial NP_inicial_amostra NP_inter NP_inter_amostra NP_final NP_final_amostra cont contador
deslocador;

% Corrigindo as velocidades em virtude das perdas de amostra.
% Procurando os perfis que não perderam amostras em uma das partes (parte
% alta ou baixa) que servirá de referência para ajuste dos perfis que
% perderam amostras em ambas as partes do trigger, referente a informação
% de posição.
PI = 0;
contador = perfil_inicial;
% Procurando o primeiro perfil de referencia, considerando que o veiculo
% nao ultrapassou 7,5 km/h (2.08 m/s)
while ((PI == 0)&&(contador <= perfil_final))
    if (((vetorperfil(contador).TA == 511)||((vetorperfil(contador).TB == 511))...
        &&(((vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB) <= NAmostras)...
        &&(vetorperfil(contador).velocidade_media < 2.08)))
        PI = contador;
        N = (vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB); % Numero de amostras do perfil
        X = (NAmostras - N); % Numero de amostras perdidas no perfil
% Compensando a influencia das perdas de amostra na velocidade calculada
        vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(contador).velocidade_media - ((837.8.*X)/(N.*(N+X)));
    end
    contador = contador + 1;
end
% Ajustando as velocidades entre o primeiro perfil de movimento e o primeiro perfil
% de referencia
for contador = perfil_inicial:PI,
    N = (vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB); % Numero de amostras do perfil
    X = (NAmostras - N); % Numero de amostras perdidas no perfil
% Compensando a influencia das perdas de amostra na velocidade calculada
    vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(contador).velocidade_media - ((837.8.*X)/(N.*(N+X)));
end

```

```

    if (vetorperfil(contador).velocidade_media > 2.08)
        vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(PI).velocidade_media;
    end
end
% Procurando próximo perfil de referencia
contador = PI;
while (contador <= perfil_final),
    if (((vetorperfil(contador).TA == 511) || (vetorperfil(contador).TB == 511)) ...
        && (((vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB) <= NAmostras) ...
        && (vetorperfil(contador).velocidade_media < 2.08)))
        PF = contador;
        N = (vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB); % Numero de amostras do perfil
        X = (NAmostras - N); % Numero de amostras perdidas no perfil
        % Compensando a influencia das perdas de amostra na velocidade calculada
        vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(contador).velocidade_media - ((837.8.*X)./(N.*(N+X)));
        % Processando todos os perfis entre PI e PF
        media = ((vetorperfil(PI).velocidade_media + vetorperfil(PF).velocidade_media)./2);
        for deslocador = (PI + 1):(PF - 1),
            N = (vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB); % Numero de amostras do perfil
            X = (NAmostras - N); % Numero de amostras perdidas no perfil
            % Compensando a influencia das perdas de amostra na velocidade calculada
            vetorperfil(deslocador).velocidade_media = vetorperfil(deslocador).velocidade_media - ((837.8.*X)./(N.*(N+X)));
            if (vetorperfil(deslocador).velocidade_media > 2.08)
                vetorperfil(deslocador).velocidade_media = media;
            end
        end
        PI = PF;
    end
    contador = contador + 1;
end
% Ajustando as velocidades entre o ultimo perfil de referencia e o ultimo
% perfil de movimento
for contador = PF:perfil_final,
    N = (vetorperfil(contador).TA + vetorperfil(contador).TB); % Numero de amostras do perfil
    X = (NAmostras - N); % Numero de amostras perdidas no perfil
    % Compensando a influencia das perdas de amostra na velocidade calculada
    vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(contador).velocidade_media - ((837.8.*X)./(N.*(N+X)));
    if (vetorperfil(contador).velocidade_media > 2.08)
        vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(PF).velocidade_media;
    end
end
% Eliminando os casos desnecessários de compensação
for contador = perfil_inicial:perfil_final,
    if (vetorperfil(contador).velocidade_media < 0) % Casos desnecessários de compensação
        vetorperfil(contador).velocidade_media = vetorperfil(contador-1).velocidade_media;
    end
end
% Tratando alteracoes abruptas, casos de mudancas súbitas de velocidade em
% apenas uma amostra
for contador = (perfil_inicial + 1):(perfil_final - 1)
    if (((vetorperfil(contador).velocidade_media > vetorperfil(contador-1).velocidade_media) ...
        && (vetorperfil(contador).velocidade_media > vetorperfil(contador+1).velocidade_media)) ...
        || ((vetorperfil(contador).velocidade_media < vetorperfil(contador-1).velocidade_media) ...
        && (vetorperfil(contador).velocidade_media < vetorperfil(contador+1).velocidade_media)))
        vetorperfil(contador).velocidade_media = ((vetorperfil(contador-1).velocidade_media +
        vetorperfil(contador+1).velocidade_media)./2);
    end
end
clear contador N X media deslocador PI PF;

% Calculando a distancia percorrida para auxiliar na localização dos
% espalhadores e o tempo de retardo dos perfis
% A placa ADQ amostrou a 20kSps, cada perfil possui 1022 amostras,
% calculando por interpolação linear: 20000*t = 1022 => t = 51,1ms.
% Um perfil possui 1022 amostras, a duração de um perfil na base de tempo
% normal é de 51,1ms, na base de tempo expandida (domínio dos retardos: k=1000)
% é de 51,1us. No tempo normal a diferença de tempo entre cada amostra é de:
% 1022t = 51,1ms => t = 50us. Utilizando k = 1000, cada amostra esta
% espessada de t = 50ns.
base_tempo2 = 0;
distancia_percorrida = 0;
for contador = perfil_inicial:perfil_final,
    base_tempo1 = 0;
    vetorperfil(contador).distancia = distancia_percorrida;
    for deslocador = 1:NAmostras,
        vetorperfil(contador).BTemporel(deslocador) = base_tempo1;
    end
end

```

```

vetorperfil(contador).BTempoabs(deslocador)= base_tempo2;
base_tempo1 = base_tempo1 + 5e-8;
base_tempo2 = base_tempo2 + 5e-8;
end
distancia_percorrida = distancia_percorrida + ((vetorperfil(contador).velocidade_media).*51.1e-3);
end
tempo_decorrido = vetorperfil(perfil_final).BTempoabs(NAmostras);
clear contador base_tempo1 base_tempo2 deslocador tempo_decorrido distancia_percorrida;

% Normalizando e transformando para decibéis
for contador = perfil_inicial:perfil_final,
    for deslocador = 1:NAmostras,
        vetorperfil(contador).PAdBm(deslocador)=10*log10(vetorperfil(contador).PAjustado(deslocador) * 1000);
    end
    vetorperfil(contador).PAdBm = (vetorperfil(contador).PAdBm - max(vetorperfil(contador).PAdBm(:)));
end
clear contador deslocador;

% Criando o arquivo de armazenamento de dados
nome_arquivo_log = strcat (nomedoarquivo(1:(strfind(nomedoarquivo, '.')...
- 1)), '_', datestr(now, 30), '.doc');
fo = fopen (nome_arquivo_log, 'w+');
warndlg (nome_arquivo_log, 'Arquivo de log criado');

% Gravando as informações sobre o perfil dentro do arquivo de log
fprintf (fo, 'Arquivo de log da base de dados %s gravado em %s.', nomedoarquivo,...
datestr(now));
fprintf (fo, '\nNumero de amostras da rota: %u', tamanho_rota);
fprintf (fo, '\nNumero de perfis encontrados: %u', numerodeperfis_prep);
fprintf (fo, '\nNumero do perfil com inicio de movimento: %u', perfil_inicial);
fprintf (fo, '\nNumero do perfil com fim de movimento: %u', perfil_final);
fprintf (fo, '\nTamanho médio de cada perfil: %f\n', (tamanho_rota/numerodeperfis_prep));
clear nome_arquivo_log;

% O trecho abaixo imprime no arquivo de log as informações sobre a
% quantidade de amostras em cada perfil
resposta = questdlg ('Deseja imprimir as informações sobre o numero de amostra dos perfis?');
if (strcmp(resposta, 'Yes'))
    for contador = 1:(numerodeperfis_prep - 1),
        fprintf (fo, '\nNumero de amostras do perfil %u: %u, parte alta: %u, parte baixa: %u',...
contador, vetorperfil(contador).numerodeamostras,...
vetorperfil(contador).TA, vetorperfil(contador).TB);
    end
    fprintf (fo, '\n\n');
end

% Limpando a memoria e salvando o arquivo de saida
clear resposta contador limiar_de_corte deslocador I Q D T tamanho_rota fo minimo_da_amplitude minimo_da_fase soma ans;
nomearquivoresultante = strcat ('Perfil_preparado_', nomedoarquivo(1:(strfind(nomedoarquivo, '.'))), 'mat');
clear nomedoarquivo ans resposta;
save (nomearquivoresultante);
warndlg (nomearquivoresultante, 'Arquivo de saida gravado');
clear nomearquivoresultante;
clear ('all');
close ('all');
fclose ('all');

```

Variável	Significado
ajuste	Armazena o nível de tensão para minimizar a interferência
amostra_final_perfil	Armazena a posicao final do perfil
amostra_inicial_perfil	Armazena a posicao inicial do perfil
amostra_intermediaria_perfil	Armazena a posical de transicao do perfil
base_tempo1	Variável de uso geral para armazenamento temporário
base_tempo2	Variável de uso geral para armazenamento temporário
cont	Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
contador	Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
contador_perfis	Armazena o numero de perfis contados durante o processamento

D		Armazena os dados adquiridos de posicionamento do receptor
deslocador		Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
diretorio		Armazena a arvore de estrutura do diretorio
distância_percorrida		Armazena a distância percorrida
extensao		Armazena a posicao da extensão do arquivo selecionado
I		Armazena os dados adquiridos do ramo I do receptor
limiar_de_corte		Armazena o valor de tensão considerado como limiar de decisão
lista_diretorio		Armazena os arquivos da variavel diretorio
mediana_da_amplitude		Armazena a mediana da amplitude de cada perfil
mediana_da_fase		Armazena a mediana da fase de cada perfil
mediana_do_perfil		Armazena a mediana do perfil
minimo_da_amplitude		Armazena o valor mínimo da amplitude
minimo_da_fase		Armazena o valor mínimo da fase
N		Variável de uso geral para armazenamento temporário
NAmostras		Armazena o número de amostras de cada perfil adquirido
nome_arquivo_log		Armazena o nome do arquivo de dados
nomearquivosresultante		Armazena o nome do arquivo de saída
nomedoarquivo		Armazena o nome do arquivo selecionado
normaliza		Armazena o nível de tensão para eliminar o nível DC
NP_final		Armazena o número do perfil final de movimento para o cálculo da velocidade
NP_final_amostra		Armazena o número do perfil final de movimento para o cálculo da velocidade
NP_inicial		Armazena o número do perfil inicial de movimento para o cálculo da velocidade
NP_inicial_amostra		Armazena o número do perfil inicial de movimento para o cálculo da velocidade
NP_inter		Armazena o número do perfil intermediário de movimento para o cálculo da velocidade
NP_inter_amostra		Armazena o número do perfil intermediário de movimento para o cálculo da velocidade
numerodeperfis_prep		Armazena o numero de perfis encontrados na rota
perfil_final		Armazena o número do perfil de fim de movimento
perfil_inicial		Armazena o número do perfil de início de movimento
PF		Número do perfil final de referência
PI		Número do perfil inicial de referência
posicao		Variável de uso geral para armazenar informação de posicionamento
Q		Armazena os dados adquiridos do ramo Q do receptor
resposta		Variável de uso geral para armazenamento temporário
selecao		Armazena número de arquivos selecionados
soma		Variável de uso geral para armazenar soma
T		Armazena os dados adquiridos do Trigger no receptor
tamanho_rota		Armazena o comprimento do vetor de trigger
tempo_decorrido		Armazena a base de tempo
velmed1		Armazena a velocidade média da transição ascendente
velmed2		Armazena a velocidade média da transição descendente
vetorperfil	velocidade_media	Armaneza a velocidade média do perfil
vetorperfil	distancia	Armazena a distância percorrida
vetorperfil	Posicao	Armazena as amostras adquiridas da posição da roda
vetorperfil	Trigger	Armazena as amostras adquiridas do sinal de Trigger

vetorperfil	Ramol	Armazena as amostras adquiridas no ramo I
vetorperfil	RamoQ	Armazena as amostras adquiridas no ramo Q
vetorperfil	Potencia	Armazena as amostras da potência calculada de cada perfil
vetorperfil	PosicaoAjustado	Armazena as amostras de posição depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	PAjustado	Armazena as amostras de potência depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	PAdBm	Armazena as amostras de potência em dBm
vetorperfil	RamolAjustado	Armazena as amostras do Ramo I depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	RamoQAjustado	Armazena as amostras do Ramo Q depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	TriggerAjustado	Armazena as amostras do trigger depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	TA	Armazena o número de amostras da parte alta do perfil
vetorperfil	TB	Armazena o número de amostras da parte baixa do perfil
vetorperfil	numerodeamostras	Armazena o número de amostras do perfil
vetorperfil	Identificador	Armazena o numero do perfil dentro do vetor de memória
vetorperfil	Btempoabs	Armazena o tempo decorrido desde o primeiro perfil com movimento
X		Variável de uso geral para armazenamento temporário

Tabela A.1 – Tabela com a relação das variáveis e seus significados

APÊNDICE B: *processamento.m* – Programa usado para o processamento dos dados preparados pelo programa *preparação.m*.

No desenvolvimento do programa foi adotado o critério de divisão da rota de acordo com variações bruscas no retardo médio do perfil processado em relação à média da rota, para isso foi calculado o retardo médio de toda a rota e realizada a análise do perfil. A partir da análise, a rota foi dividida em subrotas ou grupos e posteriormente recalculado todos os parâmetros para cada um separadamente.

Abaixo se encontra o programa de processamento dos perfis.

```
% Programa para processamento dos perfis (processamento.m)
% Preparacao.m é o programa que organiza e prepara os perfil na memória.
% Posteriormente o programa de processamento (processamento.m) realiza a limpeza
% dos perfis que possuem movimento e os calculos necessarios.
close all
clear all
clc;

% Selecionando o nome do arquivo de dados a ser carregado para o devido
% tratamento
posicao = 0;
while (posicao == 0)
    diretorio = what;
    lista_diretorio = (diretorio.mat);
    [posicao,selecao] = listdlg('PromptString','Selecione o arquivo:',...
        'SelectionMode','Single','ListString',lista_diretorio);
    if (selecao ~= 0)
        nomedoarquivo = char(lista_diretorio(posicao));
        extensao = findstr(nomedoarquivo,'mat');
        if (extensao >= 1)
            load(nomedoarquivo);
        else
            msgbox('Nao é uma extensão de arquivo válido', 'AVISO');
            break;
        end
    end
end
clear posicao diretorio lista_diretorio selecao extensao;
clc;

% Verificando a consistencias dos dados armazenados, encerra a execucao
% caso apresente diferenca nos vetores de armazenamento de dados
if ((perfil_inicial == 0) || (perfil_final == 0))
    warndlg('O arquivo selecionado apresenta dados inconsistentes',...
        'ATENÇÃO');
    exit;
end
clear nomearquivorestante;

% Entrada de dados para o processamento dos perfis
fator_k = 1000; % Fator de compressao;
retardo = 10e-6; % Considerando 10us como tempo máximo de retardo
velmin = 0.97; % Velocidade mínima considerada para o movimento
velmax = 1.55; % Velocidade máxima considerada para o movimento
tempodeperfis = 51.1e-6; % Tempo de cada perfil em s
ResRet = (1/10e6); % Resolução de retardo
janpos = int32(((NAmostras*retardo)/51.1e-6)); % Numero de amostras da janela de multipercursos

clc;
disp(sprintf('Cada perfil foi adquirido com %u amostras. Entre com o número de amostras desejado para o processamento',
    NAmostras));
numerodeamostras = input('(o valor será o número total de amostras do perfil adquiridos após o processamento): ');
```

```

clear retardo;

% Carregando os perfis com movimento para tratamento
deslocador = 1;
for contador = perfil_inicial:perfil_final,
    if ((vetorperfil(contador).velocidade_media >= velmin)&&(vetorperfil(contador).velocidade_media <= velmax))
        VPprocessado(deslocador).identificador = vetorperfil(contador).identificador;
        VPprocessado(deslocador).velocidade_media = vetorperfil(contador).velocidade_media;
        medianadB(deslocador) = median (10*log10(vetorperfil(contador).Potencia(:)*1000));
        medianaW(deslocador) = median (vetorperfil(contador).Potencia(:));
        quartilW(deslocador) = trimmean(vetorperfil(contador).PAjustado(:),10);
        medianaI = median (vetorperfil(contador).RamoIAjustado(:));
        medianaQ = median (vetorperfil(contador).RamoQAjustado(:));
        for cont = 1:numerodeamostras,
            if ((cont < ((numerodeamostras/2) - 510))|| (cont > ((numerodeamostras/2) + 511)))
                VPprocessado(deslocador).Ph_dBm(cont) = medianadB(deslocador);
                VPprocessado(deslocador).Ph_W(cont) = medianaW(deslocador);
                VPprocessado(deslocador).RamoIAjustado(cont) = medianaI;
                VPprocessado(deslocador).RamoQAjustado(cont) = medianaQ;
            else
                VPprocessado(deslocador).Ph_dBm(cont) = vetorperfil(contador).PAdBm(1 + cont - ((numerodeamostras/2) - 510));
                VPprocessado(deslocador).Ph_W(cont) = vetorperfil(contador).PAjustado(1 + cont - ((numerodeamostras/2) - 510));
                VPprocessado(deslocador).RamoIAjustado(cont) = vetorperfil(contador).RamoIAjustado(1 + cont - ((numerodeamostras/2) - 510));
                VPprocessado(deslocador).RamoQAjustado(cont) = vetorperfil(contador).RamoQAjustado(1 + cont - ((numerodeamostras/2) - 510));
            end
        end
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
numerodeperfis_proc = deslocador - 1;
clear contador deslocador perfil_inicial perfil_final vetorperfil medianaI medianaQ velmin velmax;

% Calculo das resoluções
resolucao_bc = (1/(ResRet*(numerodeamostras-1)));
resolucao_tc = (tempodeperfis*fator_k);
resolucao_dp = (1/(tempodeperfis*fator_k))/(numerodeperfis_proc - 1);

% Escolhendo a técnica de limpeza de perfil a ser utilizada
clc;
tecnica = menu ('Selecione a tecnica de limpeza para os perfis', 'Sousa', 'Wden', 'Sair');
if (tecnica == 3)
    exit(0);
end
clc;
% Usando a tecnica de Sousa na identificação dos perfis.
% Sousa afirma que 5% dos multipercursos encontrados nos perfis sao
% validos. Calculando o limiar de detecção de multipercurso (LDM) acima do
% que os multipercursos encontrados sao validos
if (tecnica == 1)
    for contador = 1:numerodeperfis_proc,
        minimodB(contador) = median (VPprocessado(contador).Ph_dBm(:)); % Mediana em dBm
        minimoW(contador) = median (VPprocessado(contador).Ph_W(:)); % Mediana do Perfil em Watts
        % Calculando o limiar para detecção do perfil, considerando o emprego do limiar de alarme falso
        limiar(contador) = (medianadB (contador) - (10.*log10(-2.*log(0.5)))) + (10.*log10(-1.*log(5e-6./2)./3));
        % "Limpando" o perfil, de forma que os que for encontrado abaixo do limiar, seja igualado ao valor da mediana.
        for deslocador = 1:numerodeamostras,
            if (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) < limiar(contador))
                VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) = minimodB (contador);
                VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) = minimoW(contador);
            end
        end
    end
end
% Armazenando a técnica de limpeza usada para o arquivo final
tecnica = 'Sousa';
end
clear contador deslocador limiar;

% Usando a Wden na limpeza dos perfis.
if (tecnica == 2)
% Configurando as informações basicas para o uso do Wden
N = wmaxlev(numerodeamostras,'sym8');
TPTR = 'sqrtwolog';
SORH = 's';
SCAL = 'sln';

```

```

for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    auxI = wden ((VPprocessado(contador).RamoIAjustado), TPTR, SORH, SCAL, N, 'sym8');
    auxQ = wden ((VPprocessado(contador).RamoQAJustado), TPTR, SORH, SCAL, N, 'sym8');
    VPprocessado(contador).RamoIAjustado = auxI;
    VPprocessado(contador).RamoQAJustado = auxQ;
    VPprocessado(contador).Ph_W =
        ((VPprocessado(contador).RamoIAjustado.^2)+(VPprocessado(contador).RamoQAJustado.^2));
    minimoW(contador) = median (VPprocessado(contador).Ph_W(:)); % Mínimo do Perfil em Watts
    for deslocador = 1 : numerodeamostras,
        VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) = 10*log10(VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) * 1000);
    end
    minimodB(contador) = median (VPprocessado(contador).Ph_dBm(:)); % Mínimo do Perfil em dB
% Identificando os picos válidos no perfil, de forma que os que for encontrado abaixo do limiar, seja igualado a mediana.
limiar = medianaW(contador) + std(quantilW);
for deslocador = 1:numerodeamostras,
    if (VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) < limiar)
        VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) = minimodB(contador);
        VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) = minimoW(contador);
    end
end
end
% Armazenando a técnica de limpeza usada para o arquivo final
tecnica = 'Wden';
end
clear N TPTR SORH SCAL contador auxI auxQ deslocador;

% Eliminando ruído impulsivo
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    for deslocador = 2:(numerodeamostras - 1),
        if ((VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador-1) == medianadB(contador))&&...
            (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador+1) == medianadB(contador))&&...
            (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) > medianadB(contador)))
            VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) = medianadB(contador);
        end
        if ((VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador-1) == medianaW(contador))&&...
            (VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador+1) == medianaW(contador))&&...
            (VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) > medianaW(contador)))
            VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) = medianaW(contador);
        end
    end
end
clear contador deslocador limiar;

% Procurando o pico de correlação com o maior valor e ajustando uma janela
% de procura para um deslocamento referente ao tempo de retardo estipulado,
% o que foi calculado na variável janpos.
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    [maximo, VPprocessado(contador).ppc(1)] = max(VPprocessado(contador).Ph_dBm(:));
% Procurando por pico anterior ao valor maximo, será aberta a janela com
% o numero de janpos, serão procuradas janpos/2 amostras anteriores e janpos/2
% posteriores
deslocador = (VPprocessado(contador).ppc(1)-(janpos/2));
if (deslocador <= 0)
    deslocador = 1;
end
amostra_inicial = 0;
while ((amostra_inicial == 0) && ((deslocador + 4) < VPprocessado(contador).ppc(1))),
    if (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) > medianadB(contador))
        [maximo, amostra_inicial] = max (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador:deslocador + 4));
        amostra_inicial = amostra_inicial + deslocador - 1;
    end
    deslocador = deslocador + 1;
end
if (amostra_inicial == 0)
    amostra_inicial = VPprocessado(contador).ppc(1);
end
% Procurando por pico posterior ao valor maximo, será aberta a janela com
% janpos/2 amostras posteriores ao valor máximo encontrado
deslocador = (VPprocessado(contador).ppc(1)+(janpos/2));
if (deslocador > numerodeamostras)
    deslocador = numerodeamostras;
end
amostra_final = 0;
while ((amostra_final == 0) && ((deslocador - 4) > VPprocessado(contador).ppc(1))),
    if (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) > medianadB(contador))
        [maximo, amostra_final] = max (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador - 4:deslocador));
    end
end

```

```

        amostra_final = deslocador - amostra_final + 5;
    end
    deslocador = deslocador - 1;
end
if (amostra_final == 0)
    amostra_final = VPprocessado(contador).ppc(1);
end
if (amostra_final > numerodeamostras)
    amostra_final = numerodeamostras;
end
% Neste ponto tenho os valores das amostras do primeiro pico e do ultimo pico
% dentro de uma janela de deslocamento. Com isso faz-se necessario verificar
% qual a posicao do pico encontrado anteriormente em relação
% a essa janela, se o mesmo se encontrar dentro da janela de deslocamento
% a amostra inicial sera considerada como a amostra do pico de "visada".
if ((amostra_final - amostra_inicial + 1) <= (janpos/2))
    VPprocessado(contador).ppc(1) = amostra_inicial - 4;
    if (VPprocessado(contador).ppc(1) <= 0)
        VPprocessado(contador).ppc(1) = 1;
    end
else
    % Caso encontre multipercurso com distancias superiores a janela, serao
    % considerados os perfis com maior contribuicao e descartados os demais
    % multipercursos
    % Comparando o processado as contribuicoes
    if (median(VPprocessado(contador).Ph_dBm(amostra_inicial:(VPprocessado(contador).ppc(1)-1))) >...
        median(VPprocessado(contador).Ph_dBm((VPprocessado(contador).ppc(1)+1):amostra_final)))
        VPprocessado(contador).ppc(1) = amostra_inicial - 4;
        if (VPprocessado(contador).ppc(1) <= 0)
            VPprocessado(contador).ppc(1) = 1;
        end
    end
    % Encontrando a nova posicao final
    deslocador = VPprocessado(contador).ppc(1)+((janpos/2)-...
        (VPprocessado(contador).ppc(1) - amostra_inicial));
    amostra_final = 0;
    while ((amostra_final == 0)&&(deslocador > VPprocessado(contador).ppc(1)))
        if (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) > medianadB(contador))
            amostra_final = deslocador + 4;
        end
        deslocador = deslocador - 1;
    end
    if (amostra_final == 0)
        amostra_final = (VPprocessado(contador).ppc(1) + 4);
    end
    if (amostra_final > numerodeamostras)
        amostra_final = numerodeamostras;
    end
else
    % Encontrando a nova posicao inicial
    deslocador = VPprocessado(contador).ppc(1)-((janpos/2)-(amostra_final - VPprocessado(contador).ppc(1)));
    amostra_inicial = 0;
    while ((amostra_inicial == 0)&&(deslocador < VPprocessado(contador).ppc(1)))
        if (VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) > medianadB(contador))
            amostra_inicial = deslocador - 4;
        end
        deslocador = deslocador + 1;
    end
    if (amostra_inicial == 0)
        amostra_inicial = (VPprocessado(contador).ppc(1) - 4);
    end
    if (amostra_inicial <= 0)
        amostra_inicial = 1;
    end
    VPprocessado(contador).ppc(1) = amostra_inicial;
end
end
% Limpando as demais ocorrencias
for deslocador = 1:numerodeamostras,
    if ((deslocador < amostra_inicial)|| (deslocador > amostra_final))
        VPprocessado(contador).Ph_dBm(deslocador) = minimodB(contador);
        VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) = minimoW(contador);
    end
end
end
clear contador cont deslocador amostra_inicial amostra_final maximo;

```

```

% Alinhando os picos dentro dos perfis
clc;
alinhamento = input(sprintf('O alinhamento dos picos recebidos pode ser feito entre as amostras 2 e %u. Digite a posicao desejada: ',
(numerodeamostras - janpos)));
if (alinhamento < 2)
    alinhamento = 2;
end
if (alinhamento > (numerodeamostras - janpos))
    alinhamento = (numerodeamostras - janpos);
end
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    minimo = min (VPprocessado(contador).Ph_W(:));
    aux(1:numerodeamostras) = minimo;
    delta = (VPprocessado(contador).ppc(1) - alinhamento);
    for deslocador = alinhamento:(numerodeamostras - delta),
        if (((deslocador + delta) <= numerodeamostras)&&(deslocador <= numerodeamostras))
            aux(deslocador) = VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador + delta);
        end
    end
    VPprocessado(contador).Ph_W = aux;
end
clear contador deslocador minimo aux delta;

% Detectando os picos de correlacao dentro do perfil e identificando todos
% os multipercursos ao longo de todos os perfis antes de efetuar o
% janelamento.
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    cont = 1;
    for deslocador = alinhamento:(numerodeamostras-1),
        mediana = median (VPprocessado(contador).Ph_W(:));
        if (VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) > mediana)
            if ((VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) > VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador+1))&&...
                (VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador) > VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador-1)))
                VPprocessado(contador).ppc(cont) = deslocador;
                cont = cont + 1;
            end
        end
    end
    picos(VPprocessado(contador).ppc) = 1;
end
clear contador deslocador cont mediana;

% Ajustando a base se tempo de acordo com o deslocamento dentro do perfil.
% Desta forma, todos os tempos de retardo estarão ajustados em relação ao
% pico de "visada", informando na variavel BTemporel o valor do retardo do
% multipercurso.
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    VPprocessado(contador).BTemporel(1) = 0;
    for deslocador = 2:numerodeamostras,
        if (deslocador <= VPprocessado(contador).ppc(1))
            VPprocessado(contador).BTemporel(deslocador) = 0;
        else
            VPprocessado(contador).BTemporel(deslocador) = VPprocessado(contador).BTemporel(deslocador-1)+(5.0049e-008);
        end
    end
end
clear contador deslocador;

% Calculando os parametros de dispersão do canal
% Calculando a dispersao temporal
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    den = 0;
    num = 0;
    for deslocador = 1:(length(VPprocessado(contador).ppc)),
        den = den + VPprocessado(contador).Ph_W(VPprocessado(contador).ppc(deslocador));
        if (deslocador > 1)
            num = num + ((VPprocessado(contador).BTemporel(VPprocessado(contador).ppc(deslocador)))*...
                (VPprocessado(contador).Ph_W(VPprocessado(contador).ppc(deslocador))));
        end
    end
    VetRes(contador).Id = VPprocessado(contador).identificador;
    VetRes(contador).Vm = VPprocessado(contador).velocidade_media;
    VetRes(contador).Bt = VPprocessado(contador).BTemporel(VPprocessado(contador).ppc);
    VetRes(contador).RM = num./den;
    num = 0;
    for deslocador = 2:(length(VPprocessado(contador).ppc)),

```

```

        num = (num + (((VPprocessado(contador).BTemporel(VPprocessado(contador).ppc(deslocador))...
        - VetRes(contador).RM)^2)*(VPprocessado(contador).Ph_W(VPprocessado(contador).ppc(deslocador))));
    end
    VetRes(contador).ER = sqrt (num./den);
end
clear contador deslocador den num;

% Calculando os parametros na frequencia
% Escolhendo o tipo de janela a ser usado para o calculo da fft.
clc;
tipo = menu ('Selecione o tipo de janela', 'blackman', 'blackmanharris',...
    'hamming', 'hann', 'chebwin', 'tukeywin', 'triang', 'kaiser com beta = 5',...
    'kaiser com beta = 7', 'kaiser com beta = 9', 'kaiser com beta = 11',...
    'kaiser com beta = 13', 'gausswin com alpha = 2.5', 'gausswin com alpha = 3.0',...
    'gausswin com alpha = 3.5', 'blackman symmetric', 'blackman periodic', 'Sair');
clc;
switch (tipo)
case 1
    nome_janela = 'blackman';
    wt = window(@blackman, numerodeamostras);
    wf = window(@blackman, numerodeperfis_proc);
case 2
    nome_janela = 'blackmanharris';
    wt = window(@blackmanharris, numerodeamostras);
    wf = window(@blackmanharris, numerodeperfis_proc);
case 3
    nome_janela = 'hamming';
    wt = window(@hamming, numerodeamostras);
    wf = window(@hamming, numerodeperfis_proc);
case 4
    nome_janela = 'hann';
    wt = window(@hann, numerodeamostras);
    wf = window(@hann, numerodeperfis_proc);
case 5
    nome_janela = 'chebwin';
    wt = window(@chebwin, numerodeamostras);
    wf = window(@chebwin, numerodeperfis_proc);
case 6
    nome_janela = 'tukeywin';
    wt = window(@tukeywin, numerodeamostras);
    wf = window(@tukeywin, numerodeperfis_proc);
case 7
    nome_janela = 'triang';
    wt = window(@triang, numerodeamostras);
    wf = window(@triang, numerodeperfis_proc);
case 8
    nome_janela = 'kaiser com beta = 5';
    wt = window(@kaiser, numerodeamostras, 5);
    wf = window(@kaiser, numerodeperfis_proc, 5);
case 9
    nome_janela = 'kaiser com beta = 7';
    wt = window(@kaiser, numerodeamostras, 7);
    wf = window(@kaiser, numerodeperfis_proc, 7);
case 10
    nome_janela = 'kaiser com beta = 9';
    wt = window(@kaiser, numerodeamostras, 9);
    wf = window(@kaiser, numerodeperfis_proc, 9);
case 11
    nome_janela = 'kaiser com beta = 11';
    wt = window(@kaiser, numerodeamostras, 11);
    wf = window(@kaiser, numerodeperfis_proc, 11);
case 12
    nome_janela = 'kaiser com beta = 13';
    wt = window(@kaiser, numerodeamostras, 13);
    wf = window(@kaiser, numerodeperfis_proc, 13);
case 13
    nome_janela = 'gausswin com alpha = 2.5';
    wt = window(@gausswin, numerodeamostras, 2.5);
    wf = window(@gausswin, numerodeperfis_proc, 2.5);
case 14
    nome_janela = 'gausswin com alpha = 3.0';
    wt = window(@gausswin, numerodeamostras, 3.0);
    wf = window(@gausswin, numerodeperfis_proc, 3.0);
case 15
    nome_janela = 'gausswin com alpha = 3.5';
    wf = window(@gausswin, numerodeamostras, 3.5);

```

```

    wf = window(@gausswin, numerodeperfis_proc, 3.5);
case 16
    nome_janela = 'blackman symmetric';
    wt = window(@blackman, numerodeamostras, 'symmetric');
    wf = window(@blackman, numerodeperfis_proc, 'symmetric');
case 17
    nome_janela = 'blackman periodic';
    wt = window(@blackman, numerodeamostras, 'periodic');
    wf = window(@blackman, numerodeperfis_proc, 'periodic');
otherwise
    clc;
    disp('Programa encerrado');
    exit;
end

% Janelando o perfil em csi para o calculo da fft e posteriormente
% calculando RIs. Calculando RIs para cada perfil encontrado, utilizando
% Rlh (RIs = F(csi){Rlh}). O modulo de RIs ao quadrado fornece diretamente
% Ps (Densidade de Potencia Espalhada).
% Calculando Rlh (resposta da sonda)
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    for deslocador = 1:numerodeamostras,
        fase = atan((VPprocessado(contador).RamoQAJustado(deslocador))/(VPprocessado(contador).RamoIAjustado(deslocador)));
        VPprocessado(contador).Rlh(deslocador) = ((sqrt(VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador)))*(cos(fase)+j*sin(fase)));
    end
end
numederetardos = length(picos);
clear contador deslocador fase picos;
% Janelando para calcular Rt a partir de Ph e posteriormente normalizando
for contador = 1:numerodeperfis_proc,
    for deslocador = 1:numerodeamostras,
        auxj(deslocador) = (VPprocessado(contador).Ph_W(deslocador)*(wt(deslocador)));
    end
    aux = abs(fft(auxj, numerodeamostras));
    maximo = max (aux);
% Normalizando para o calculo da banda de coerencia
    VPprocessado(contador).Rt_bc = (aux./maximo);
end
clear contador deslocador aux auxj maximo;
% Calculando a banda de coerencia
% Para o calculando da banda de coerencia foi adotado semelhança de triangulos
% para a localizacao do ponto requerido (90% ou 50%).
% Banda de coerencia para 90%
contador = 1;
while (contador <= numerodeperfis_proc)
    deslocador = 1;
    B = 0;
    while (deslocador <= numerodeamostras)
        if (VPprocessado(contador).Rt_bc(deslocador) < 0.9)
            B = deslocador;
            A = deslocador - 1;
            break;
        else
            deslocador = deslocador + 1;
        end
    end
    if (B==0)
        aux = (numerodeamostras*resolucao_bc);
    else
        aux = (((0.9 - VPprocessado(contador).Rt_bc(B))*(A - B))/...
            (VPprocessado(contador).Rt_bc(A) - VPprocessado(contador).Rt_bc(B))) + B)*...
            resolucao_bc;
    end
    if ((aux < 0)|| (aux > (numerodeamostras*resolucao_bc)))
        VetRes(contador).bc_90 = Inf;
    else
        VetRes(contador).bc_90 = aux;
    end
    contador = contador + 1;
end
clear contador deslocador aux A B;
% Banda de coerencia para 50%
contador = 1;
while (contador <= numerodeperfis_proc)
    deslocador = 1;
    B = 0;

```

```

while (deslocador <= numerodeamostras)
    if (VPprocessado(contador).Rt_bc(deslocador) < 0.5)
        B = deslocador;
        A = deslocador - 1;
        break;
    else
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
if (B==0)
    aux = (numerodeamostras*resolucao_bc);
else
    aux = (((0.5 - VPprocessado(contador).Rt_bc(B))*(A - B))/...
        (VPprocessado(contador).Rt_bc(A) - VPprocessado(contador).Rt_bc(B))) + B)*...
        resolucao_bc;
end
if ((aux < 0)|| (aux > (numerodeamostras*resolucao_bc)))
    VetRes(contador).bc_50 = Inf;
else
    VetRes(contador).bc_50 = aux;
end
contador = contador + 1;
end
clear contador deslocador aux A B;
% Janelando os perfis em csi para calcular RIs através da fft dos retardos
for contador = alinhamento:numeroderetardos,
    for deslocador = 1:numerodeperfis_proc,
        auxj(deslocador) = ((VPprocessado(deslocador).RIh(contador))*(wf(deslocador)));
    end
    VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).RIs = fft(auxj, numerodeperfis_proc);
    VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).Ps = (abs(fft(auxj, numerodeperfis_proc))).^2;
end
clear contador deslocador auxj;
% Janelando novamente para o calculo de RIH e PH
for contador = alinhamento:numeroderetardos,
    for deslocador = 1:numerodeperfis_proc,
        auxj(deslocador) = (VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).RIs(deslocador)*(wf(deslocador')));
    end
    VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).PH = (abs(fft(auxj, numerodeperfis_proc))).^2;
end
clear contador deslocador auxj;
% Janelando para calcular Rt a partir de PH e posteriormente normalizando
for contador = alinhamento:numeroderetardos,
    for deslocador = 1:numerodeperfis_proc,
        auxj(deslocador) = (VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).PH(deslocador)*(wf(deslocador')));
    end
    aux = abs(iff(fft(auxj, numerodeperfis_proc)));
    maximo = max (aux);
% Normalizando para o calculo do tempo de coerencia
    VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).Rt_tc = (aux./maximo);
end
clear contador deslocador aux auxj maximo;
% Calculando o tempo de coerencia
% Para o calculando do tempo de coerencia foi adotado semelhança de triangulos
% para a localizacao do ponto requerido (90% ou 50%).
% Tempo de coerencia para 90%
contador = 1;
while (contador <= (numeroderetardos - alinhamento + 1))
    deslocador = 1;
    B = 0;
    while (deslocador <= numerodeperfis_proc)
        if (VPprocessado(contador).Rt_tc(deslocador) < 0.9)
            B = deslocador;
            A = deslocador - 1;
            break;
        else
            deslocador = deslocador + 1;
        end
    end
    if (B==0)
        aux = (numerodeperfis_proc*resolucao_tc);
    else
        aux = (((0.9 - VPprocessado(contador).Rt_tc(B))*(A - B))/...
            (VPprocessado(contador).Rt_tc(A) - VPprocessado(contador).Rt_tc(B))) + B)*...
            resolucao_tc;
    end
    contador = contador + 1;
end

```



```

if ((aux < 0)|| (aux > (numerodeperfis_proc*resolucao_tc)))
    VetRes(contador).tc_90 = Inf;
else
    VetRes(contador).tc_90 = aux;
end
contador = contador + 1;
end
clear contador deslocador aux A B;
% Tempo de coerencia para 50%
contador = 1;
while (contador <= (numeroderetardos - alinhamento + 1))
    deslocador = 1;
    B = 0;
    while (deslocador <= numerodeperfis_proc)
        if (VPprocessado(contador).Rt_tc(deslocador) < 0.5)
            B = deslocador;
            A = deslocador - 1;
            break;
        else
            deslocador = deslocador + 1;
        end
    end
    if (B==0)
        aux = (numerodeperfis_proc*resolucao_tc);
    else
        aux = (((0.5 - VPprocessado(contador).Rt_tc(B))*(A - B))/...
            (VPprocessado(contador).Rt_tc(A) - VPprocessado(contador).Rt_tc(B))) + B)*...
            resolucao_tc;
    end
    if ((aux < 0)|| (aux > (numerodeperfis_proc*resolucao_tc)))
        VetRes(contador).tc_50 = Inf;
    else
        VetRes(contador).tc_50 = aux;
    end
    contador = contador + 1;
end
clear contador deslocador aux A B;

% Calculando Doppler
den = 0;
num = 0;
marco = fix(numerodeperfis_proc / 2);
for contador = alinhamento:numeroderetardos,
    for deslocador = 1:numerodeperfis_proc,
        num = num + (((deslocador - marco)*resolucao_dp*...
            VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).PH(deslocador));
        den = den + VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).PH(deslocador);
    end
end
% Calculando o Deslocamento Doppler
VetRes((contador - alinhamento) + 1).DD = num./den;

num = 0;
for deslocador = 1:numerodeperfis_proc,
    num = num + (((((deslocador - marco)*resolucao_dp) - VetRes((contador - alinhamento) + 1).DD)^2)*...
        VPprocessado((contador - alinhamento) + 1).PH(deslocador));
end
% Calculando o Espalhamento Doppler
VetRes((contador - alinhamento) + 1).ED = sqrt(num./den);
end
clear contador deslocador num den marco;

% Calculando media, desvio padrao e mediana da rota para o resultado consolidado
for contador = 1 : numerodeperfis_proc,
    rm (contador) = VetRes(contador).RM;
    er (contador) = VetRes(contador).ER;
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : (numeroderetardos - alinhamento + 1),
    if ((VetRes(contador).DD >= (-1/(2*fator_k*tempodeperfis))))&&(VetRes(contador).DD <= (1/(2*fator_k*tempodeperfis))))
        dd (deslocador) = VetRes(contador).DD;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : (numeroderetardos - alinhamento + 1),
    if ((VetRes(contador).ED >= (-1/(2*fator_k*tempodeperfis))))&&(VetRes(contador).ED <= (1/(fator_k*tempodeperfis))))

```

```

        ed (deslocador) = VetRes(contador).ED;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : (numederetardos - alinhamento + 1),
    if (VetRes(contador).tc_50 <= (numerdeperfis_proc*resolucao_tc))
        tc_50 (deslocador) = VetRes(contador).tc_50;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : (numederetardos - alinhamento + 1),
    if (VetRes(contador).tc_90 <= (numerdeperfis_proc*resolucao_tc))
        tc_90 (contador) = VetRes(contador).tc_90;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : numerdeperfis_proc,
    if (VetRes(contador).bc_50 <= (numerdeamostras*resolucao_bc))
        bc_50 (contador) = VetRes(contador).bc_50;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : numerdeperfis_proc,
    if (VetRes(contador).bc_90 <= (numerdeamostras*resolucao_bc))
        bc_90 (contador) = VetRes(contador).bc_90;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
clear contador deslocador;
% Retardo Medio
Media.RM = mean (rm);
Desvio.RM = std (rm);
Mediana.RM = median (rm);
% Espalhamento de Retardo
Media.ER = mean (er);
Desvio.ER = std (er);
Mediana.ER = median (er);
% Deslocamento Doppler
Media.DD = mean (dd);
Desvio.DD = std (dd);
Mediana.DD = median (dd);
% Espalhamento Doppler
Media.ED = mean (ed);
Desvio.ED = std (ed);
Mediana.ED = median (ed);
% Tempo de Coerencia 50%
Media.TC_50 = mean (tc_50);
Desvio.TC_50 = std (tc_50);
Mediana.TC_50 = median (tc_50);
% Tempo de Coerencia 90%
Media.TC_90 = mean (tc_90);
Desvio.TC_90 = std (tc_90);
Mediana.TC_90 = median (tc_90);
% Banda de Coerencia 50%
Media.BC_50 = mean (bc_50);
Desvio.BC_50 = std (bc_50);
Mediana.BC_50 = median (bc_50);
% Banda de Coerencia 90%
Media.BC_90 = mean (bc_90);
Desvio.BC_90 = std (bc_90);
Mediana.BC_90 = median (bc_90);
clear rm er dd ed tc_50 tc_90 bc_50 bc_90 ;

% Salvando os resultados dentro do arquivo de saida e apagando as variaveis
% Criando o arquivo para armazenar os dados
switch (numerdeamostras)
    case 1024
        aux = '_1024';
    case 2048
        aux = '_2048';
    case 4096
        aux = '_4096';
end

```

```

case 8196
    aux = '_8192';
otherwise
    aux = "";
end
nomearquivoresultante = strcat ('Resultado', '_', tecnica, '_', nome_janela, aux, nomedoarquivo(17:(strfind(nomedoarquivo, '_')-1),
'.mat');
nome_arquivo = strcat (nomearquivoresultante(1:(strfind(nomearquivoresultante, '_')- 1)), '_', datestr(now, 30), '.doc');
fo = fopen (nome_arquivo, 'w+');
clear nomedoarquivo;
% Gravando as informações sobre o perfil dentro do arquivo de saída
fprintf (fo, 'Arquivo de saída com os calculos dos dados gravado em %s', datestr(now));
fprintf (fo, '\nNome do arquivo de entrada: %s', nomearquivoresultante);
fprintf (fo, '\nNumero de amostras da rota: %u', NAmostras);
fprintf (fo, '\nNumero de perfis processados: %u', numerodeperfis_proc);

% Informações referente ao parametros de processamento usado
fprintf (fo, '\n\nParâmetros do processamento:');
fprintf (fo, '\nNumero de amostras totais do perfil (numero de amostras da rota + numero de amostras acrescidas): %u',
numerodeamostras);
fprintf (fo, '\nAmostra de alinhamento do primeiro pico: %u', alinhamento);
fprintf (fo, '\nNumero de retardos totais encontrados: %u', (numeroderetardos - alinhamento + 1));
fprintf (fo, '\nTempo do perfil em s: %d', tempodeperfis);
fprintf (fo, '\nTecnica usada para limpeza dos perfis: %s', tecnica);
fprintf (fo, '\nTipo de janela usada para a transformada de Fourier: %s', nome_janela);
fprintf (fo, '\n\n');
% Informações sobre os calculos temporais
fprintf (fo, '\nParâmetros calculados no tempo:');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n -----');
fprintf (fo, '\nParâmetro | Retardo Médio | Espalhamento de Retardo |');
fprintf (fo, '\nMedia | %2.4u | %2.4u |', Media.RM, Media.ER);
fprintf (fo, '\nDesvio | %2.4u | %2.4u |', Desvio.RM, Desvio.ER);
fprintf (fo, '\nMediana | %2.4u | %2.4u |', Mediana.RM, Mediana.ER);
fprintf (fo, '\n +-----+');
fprintf (fo, '\nParâmetro | Banda de Coerencia - 50%% | Banda de Coerencia - 90%% |');
fprintf (fo, '\nMedia | %2.4u | %2.4u |', Media.BC_50, Media.BC_90);
fprintf (fo, '\nDesvio | %2.4u | %2.4u |', Desvio.BC_50, Desvio.BC_90);
fprintf (fo, '\nMediana | %2.4u | %2.4u |', Mediana.BC_50, Mediana.BC_90);
fprintf (fo, '\n -----');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n\n');
% Informações sobre os calculos na frequencia
fprintf (fo, '\nParâmetros calculados na frequencia:');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n -----');
fprintf (fo, '\nParâmetro | Deslocamento Doppler | Espalhamento Doppler |');
fprintf (fo, '\nMedia | %2.4u | %2.4u |', Media.DD, Media.ED);
fprintf (fo, '\nDesvio | %2.4u | %2.4u |', Desvio.DD, Desvio.ED);
fprintf (fo, '\nMediana | %2.4u | %2.4u |', Mediana.DD, Mediana.ED);
fprintf (fo, '\n +-----+');
fprintf (fo, '\nParâmetro | Tempo de Coerencia - 50%% | Tempo de Coerencia - 90%% |');
fprintf (fo, '\nMedia | %2.4u | %2.4u |', Media.TC_50, Media.TC_90);
fprintf (fo, '\nDesvio | %2.4u | %2.4u |', Desvio.TC_50, Desvio.TC_90);
fprintf (fo, '\nMediana | %2.4u | %2.4u |', Mediana.TC_50, Mediana.TC_90);
fprintf (fo, '\n -----');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n\n\n\n');
% Analisando a rota para determinar os pontos onde os perfis "perdem" a
% estacionariedade no sentido amplo.
% Determinando as posicoes iniciais e finais de cada subrota (grupo de
% perfis com estacionariedade em sentido amplo).
deslocador = 1;
grupo(deslocador).posicaoInicial = 1;
for contador = 1 : numerodeperfis_proc,
    if (((VetRes(contador).RM) > (2*Desvio.RM + Media.RM)) || ((VetRes(contador).RM) < (Media.RM - 2*Desvio.RM)))
        if ((contador - grupo(deslocador).posicaoInicial) > 40)
            if ((contador + 10) < numerodeperfis_proc)
                grupo(deslocador).posicaoFinal = contador;
                deslocador = deslocador + 1;
                grupo(deslocador).posicaoInicial = contador + 1;
            else
                grupo(deslocador).posicaoFinal = numerodeperfis_proc;
                contador = numerodeperfis_proc;
            end
        end
    end
end

```

```

end
end
grupo(deslocador).posicaoofinal = numerodeperfis_proc;
clear contador deslocador media desvio;

% Preparando a janela de acordo com o comprimento do grupo de perfis
for cont = 1 : (length(grupo)),
    switch (tipo)
        case 1
            wf = window(@blackman, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 2
            wf = window(@blackmanharris, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 3
            wf = window(@hamming, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 4
            wf = window(@hann, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 5
            wf = window(@chebwin, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 6
            wf = window(@tukeywin, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 7
            wf = window(@triang, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
        case 8
            wf = window(@kaiser, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 5);
        case 9
            wf = window(@kaiser, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 7);
        case 10
            wf = window(@kaiser, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 9);
        case 11
            wf = window(@kaiser, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 11);
        case 12
            wf = window(@kaiser, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 13);
        case 13
            wf = window(@gausswin, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 2.5);
        case 14
            wf = window(@gausswin, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 3.0);
        case 15
            wf = window(@gausswin, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 3.5);
        case 16
            wf = window(@blackman, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 'symmetric');
        case 17
            wf = window(@blackman, (grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1), 'periodic');
    end

    % Calculando as transformadas de Fourier
    for contador = alinhamento:numeroderetardos,
        % Janelando os perfis em csi para calcular RIs através da fft dos retardos
        for deslocador = grupo(cont).posicaooinicial:grupo(cont).posicaoofinal,
            auxj(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = ...
                ((VPprocessado(deslocador).RIh(contador))*...
                (wf(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1)));
        end
        VPprocessadog(cont,((contador - alinhamento) + 1)).RIs = fft(auxj);
        VPprocessadog(cont,((contador - alinhamento) + 1)).Ps = (abs(fft(auxj))).^2;
        clear auxj;
    end

    % Janelando para o calculo de RIH e PH
    for deslocador = grupo(cont).posicaooinicial:grupo(cont).posicaoofinal,
        auxj(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = ...
            (VPprocessadog(cont,((contador - alinhamento) + 1)).RIs(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1))*...
            (wf(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1)));
    end
    VPprocessadog(cont,((contador - alinhamento) + 1)).PH = (abs(fft(auxj))).^2;
    clear auxj;

    % Janelando para calcular Rt a partir de PH e posteriormente normalizando
    for deslocador = grupo(cont).posicaooinicial:grupo(cont).posicaoofinal,
        auxj(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = ...
            (VPprocessadog(cont,((contador - alinhamento) + 1)).PH(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1))*...
            (wf(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1)));
    end
    aux = abs(ifft(auxj));
    maximo = max (aux);

    % Normalizando para o calculo do tempo de coerencia
    VPprocessadog(cont,((contador - alinhamento) + 1)).Rt_tc = (aux./maximo);
end
clear contador deslocador aux auxj maximo;

```

```

% Calculando o tempo de coerencia
% Para o calculando do tempo de coerencia foi adotado semelhança de
% triangulos para a localizacao do ponto requerido (90% ou 50%).
% Tempo de coerencia para 90%
contador = 1;
while (contador <= (numeroderetardos - alinhamento + 1))
    deslocador = 1;
    B = 0;
    while (deslocador <= (grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1))
        if (VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(deslocador) < 0.9)
            B = deslocador;
            A = deslocador - 1;
            break;
        else
            deslocador = deslocador + 1;
        end
    end
    if (B==0)
        aux = ((grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1)*resolucao_tc);
    else
        aux = (((0.9 - VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(B))*(A - B))/...
            (VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(A) - VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(B))) + B)*...
            resolucao_tc;
    end
    if ((aux < 0)|| (aux > ((grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1)*resolucao_tc)))
        VetResg(cont, contador).tc_90 = Inf;
    else
        VetResg(cont, contador).tc_90 = aux;
    end
    contador = contador + 1;
end
clear contador deslocador aux A B;
% Tempo de coerencia para 50%
contador = 1;
while (contador <= (numeroderetardos - alinhamento + 1))
    deslocador = 1;
    B = 0;
    while (deslocador <= (grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1))
        if (VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(deslocador) < 0.5)
            B = deslocador;
            A = deslocador - 1;
            break;
        else
            deslocador = deslocador + 1;
        end
    end
    if (B==0)
        aux = ((grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1)*resolucao_tc);
    else
        aux = (((0.5 - VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(B))*(A - B))/...
            (VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(A) - VPprocessadog(cont, contador).Rt_tc(B))) + B)*...
            resolucao_tc;
    end
    if ((aux < 0)|| (aux > ((grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1)*resolucao_tc)))
        VetResg(cont, contador).tc_50 = Inf;
    else
        VetResg(cont, contador).tc_50 = aux;
    end
    contador = contador + 1;
end
clear contador deslocador aux A B;

% Calculando Doppler
resolucao_dp = (1/(tempodeperfis*fator_k))/((grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1) - 1);
marco = fix((grupo(cont).posicaofinal - grupo(cont).posicao inicial + 1) / 2);
den = 0;
num = 0;
for contador = alinhamento:numeroderetardos,
    for deslocador = grupo(cont).posicao inicial:grupo(cont).posicao final,
        num = num + ((deslocador - marco)*resolucao_dp*...
            VPprocessadog(cont, ((contador - alinhamento) + 1)).PH(deslocador - grupo(cont).posicao inicial + 1));
        den = den + VPprocessadog(cont, ((contador - alinhamento) + 1)).PH(deslocador - grupo(cont).posicao inicial + 1);
    end
end
% Calculando o Deslocamento Doppler
VetResg(cont, ((contador - alinhamento) + 1)).DD = num./den;
num = 0;

```

```

    for deslocador = grupo(cont).posicaooinicial:grupo(cont).posicaoofinal,
        num = num + (((deslocador - marco)*resolucao_dp) -...
            VetResg(cont, ((contador - alinhamento) + 1)).DD)^2)*...
            VPprocessadog(cont, ((contador - alinhamento) + 1)).PH(deslocador - grupo(cont).posicaooinicial + 1));
    end
% Calculando o Espalhamento Doppler
    VetResg(cont, ((contador - alinhamento) + 1)).ED = sqrt(num./den);
end
clear contador deslocador num den;

% Calculando media, desvio padrao e mediana dos grupos
for contador = grupo(cont).posicaooinicial : grupo(cont).posicaoofinal,
    rm (contador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = VetRes(contador).RM;
    er (contador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = VetRes(contador).ER;
end

deslocador = 1;
for contador = 1 : (numoderetardos - alinhamento + 1),
    if ((VetResg(cont, contador).DD >= (-1/(2*fator_k*tempodeperfis)))&&(VetResg(cont, contador).DD <=
(1/(2*fator_k*tempodeperfis))))
        dd (deslocador) = VetResg(cont, contador).DD;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
if (deslocador == 1)
    dd (deslocador) = 0;
end

deslocador = 1;
for contador = 1 : (numoderetardos - alinhamento + 1),
    if ((VetResg(cont, contador).ED >= (-1/(2*fator_k*tempodeperfis)))&&(VetResg(cont, contador).ED <=
(1/(fator_k*tempodeperfis))))
        ed (deslocador) = VetResg(cont, contador).ED;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
if (deslocador == 1)
    ed (deslocador) = 0;
end

% Tempo de Coerencia
deslocador = 1;
for contador = 1 : (numoderetardos - alinhamento + 1),
    if (VetResg(cont, contador).tc_50 <= ((grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1)*resolucao_tc))
        tc_50 (deslocador) = VetResg(cont, contador).tc_50;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = 1 : (numoderetardos - alinhamento + 1),
    if (VetResg(cont, contador).tc_90 <= ((grupo(cont).posicaoofinal - grupo(cont).posicaooinicial + 1)*resolucao_tc))
        tc_90 (contador) = VetResg(cont, contador).tc_90;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end

% Banda de Coerencia
deslocador = 1;
for contador = grupo(cont).posicaooinicial : grupo(cont).posicaoofinal,
    if (VetRes(contador).bc_50 <= (numodeamostras*resolucao_bc))
        bc_50 (contador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = VetRes(contador).bc_50;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
deslocador = 1;
for contador = grupo(cont).posicaooinicial : grupo(cont).posicaoofinal,
    if (VetRes(contador).bc_90 <= (numodeamostras*resolucao_bc))
        bc_90 (contador - grupo(cont).posicaooinicial + 1) = VetRes(contador).bc_90;
        deslocador = deslocador + 1;
    end
end
clear contador deslocador;

% Retardo Medio
Mediag(cont).RM = mean (rm);
Desviog(cont).RM = std (rm);

```

```

    Medianag(cont).RM = median (rm);
% Espalhamento de Retardo
    Mediag(cont).ER = mean (er);
    Desviog(cont).ER = std (er);
    Medianag(cont).ER = median (er);
% Deslocamento Doppler
    Mediag(cont).DD = mean (dd);
    Desviog(cont).DD = std (dd);
    Medianag(cont).DD = median (dd);
% Espalhamento Doppler
    Mediag(cont).ED = mean (ed);
    Desviog(cont).ED = std (ed);
    Medianag(cont).ED = median (ed);
% Tempo de Coerencia 50%
    Mediag(cont).TC_50 = mean (tc_50);
    Desviog(cont).TC_50 = std (tc_50);
    Medianag(cont).TC_50 = median (tc_50);
% Tempo de Coerencia 90%
    Mediag(cont).TC_90 = mean (tc_90);
    Desviog(cont).TC_90 = std (tc_90);
    Medianag(cont).TC_90 = median (tc_90);
% Banda de Coerencia 50%
    Mediag(cont).BC_50 = mean (bc_50);
    Desviog(cont).BC_50 = std (bc_50);
    Medianag(cont).BC_50 = median (bc_50);
% Banda de Coerencia 90%
    Mediag(cont).BC_90 = mean (bc_90);
    Desviog(cont).BC_90 = std (bc_90);
    Medianag(cont).BC_90 = median (bc_90);
clear rm er dd ed tc_50 tc_90 bc_50 bc_90 ;

% Gravando as informacoes sobre os grupos (subrotas) dos perfis dentro do arquivo de saida
% Informacoes referente ao parametros de processamento usado
fprintf (fo, '\n\n\n\n');
fprintf (fo, '\n\n\nParâmetros do processamento:');
fprintf (fo, '\nGrupo (subrota): %u', cont);
fprintf (fo, '\nPerfil inicial do Grupo: %u', grupo(cont).posicaoinicial);
fprintf (fo, '\nPerfil final do Grupo: %u', grupo(cont).posicaofinal);
fprintf (fo, '\n\n');
% Informacoes sobre os calculos temporais
fprintf (fo, '\nParâmetros calculados no tempo:');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n
-----');
fprintf (fo, '\nParâmetro      | Retardo Médio      | Espalhamento de Retardo      |');
fprintf (fo, '\nMedia      | %2.4u      | %2.4u      |', Mediag(cont).RM, Mediag(cont).ER);
fprintf (fo, '\nDesvio      | %2.4u      | %2.4u      |', Desviog(cont).RM, Desviog(cont).ER);
fprintf (fo, '\nMediana      | %2.4u      | %2.4u      |', Medianag(cont).RM, Medianag(cont).ER);
fprintf (fo, '\n
+-----+');
fprintf (fo, '\nParâmetro      | Banda de Coerencia - 50%%      | Banda de Coerencia - 90%%      |');
fprintf (fo, '\nMedia      | %2.4u      | %2.4u      |', Mediag(cont).BC_50, Mediag(cont).BC_90);
fprintf (fo, '\nDesvio      | %2.4u      | %2.4u      |', Desviog(cont).BC_50, Desviog(cont).BC_90);
fprintf (fo, '\nMediana      | %2.4u      | %2.4u      |', Medianag(cont).BC_50, Medianag(cont).BC_90);
fprintf (fo, '\n
-----');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n\n');
% Informacoes sobre os calculos na frequencia
fprintf (fo, '\nParâmetros calculados na frequencia:');
fprintf (fo, '\n=====');
fprintf (fo, '\n
-----');
fprintf (fo, '\nParâmetro      | Deslocamento Doppler      | Espalhamento Doppler      |');
fprintf (fo, '\nMedia      | %2.4u      | %2.4u      |', Mediag(cont).DD, Mediag(cont).ED);
fprintf (fo, '\nDesvio      | %2.4u      | %2.4u      |', Desviog(cont).DD, Desviog(cont).ED);
fprintf (fo, '\nMediana      | %2.4u      | %2.4u      |', Medianag(cont).DD, Medianag(cont).ED);
fprintf (fo, '\n
+-----+');
fprintf (fo, '\nParâmetro      | Tempo de Coerencia - 50%%      | Tempo de Coerencia - 90%%      |');
fprintf (fo, '\nMedia      | %2.4u      | %2.4u      |', Mediag(cont).TC_50, Mediag(cont).TC_90);
fprintf (fo, '\nDesvio      | %2.4u      | %2.4u      |', Desviog(cont).TC_50, Desviog(cont).TC_90);
fprintf (fo, '\nMediana      | %2.4u      | %2.4u      |', Medianag(cont).TC_50, Medianag(cont).TC_90);
fprintf (fo, '\n
-----');
fprintf (fo, '\n=====');

end
numeroderetardos = (numeroderetardos - alinhamento + 1);
% Fechando o arquivo de saída
fclose (fo);
warndlg (nome_arquivo, 'Arquivo de saída criado');

```

Variável		Significado
(.).g		Mesma estrutura das variáveis, porém destinada ao grupos de subrotas
A		Variável de uso geral para armazenamento temporário
Alinhamento		Armazena a posição para o alinhamento do perfil
amostra_final		Armazena a posicao final do perfil
amostra_inicial		Armazena a posicao inicial do perfil
Aux		Variável de uso geral para armazenamento temporário
auxl		Variável de uso geral para armazenamento temporário
auxj		Variável de uso geral para armazenamento temporário do perfil janelado
auxQ		Variável de uso geral para armazenamento temporário
B		Variável de uso geral para armazenamento temporário
bc_50		Variável de uso geral para armazenamento temporário
bc_90		Variável de uso geral para armazenamento temporário
cont		Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
contador		Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
dd		Variável de uso geral para armazenamento temporário
delta		Variável de uso geral para armazenamento temporário
den		Variável de uso geral para armazenamento temporário
deslocador		Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
Desvio	RM	Armazena a desvio padrão do retardo médio
Desvio	ER	Armazena a desvio padrão do espalhamento de retardo
Desvio	DD	Armazena a desvio padrão do deslocamento Doppler
Desvio	ED	Armazena a desvio padrão do espalhamento Doppler
Desvio	TC_50	Armazena a desvio padrão do tempo de coerência - 50%
Desvio	TC_90	Armazena a desvio padrão do tempo de coerência - 90%
Desvio	BC_50	Armazena a desvio padrão do banda de coerência - 50%
Desvio	BC_90	Armazena a desvio padrão do banda de coerência - 90%

diretorio		Armazena a arvore de estrutura do diretorio
ed		Variável de uso geral para armazenamento temporário
er		Variável de uso geral para armazenamento temporário
extensao		Armazena a posicao da extensão do arquivo selecionado
fase		Armazena temporariamente a fase do perfil
fator_k		Armazena o fator de compressão
fo		Armazena posição de memória para o arquivo aberto
grupo	posicaoinicial	Armazena a primeira amostra da subrota encontrada dentro da rota processada
grupo	posicaofinal	Armazena a ultima amostra da subrota encontrada dentro da rota processada
janpos		Armazena o número de amostras da janela de multipercurso
limiar		Armazena o limiar de detecção do perfil, usado para a técnica do Sousa
lista_diretorio		Armazena os arquivos da variavel diretorio
marco		Variável de uso geral para armazenamento temporário
maximo		Armazena o valor máximo das amostras dentro de um perfil
Media	RM	Armazena a média do retardo médio
Media	ER	Armazena a média do espalhamento de retardo
Media	DD	Armazena a média do deslocamento Doppler
Media	ED	Armazena a média do espalhamento Doppler
Media	TC_50	Armazena a média do tempo de coerência - 50%
Media	TC_90	Armazena a média do tempo de coerência - 90%
Media	BC_50	Armazena a média do banda de coerência - 50%
Media	BC_90	Armazena a média do banda de coerência - 90%
Mediana	RM	Armazena a mediana do retardo médio
Mediana	ER	Armazena a mediana do espalhamento de retardo
Mediana	DD	Armazena a mediana do deslocamento Doppler
Mediana	ED	Armazena a mediana do espalhamento Doppler
Mediana	TC_50	Armazena a mediana do tempo de coerência - 50%
Mediana	TC_90	Armazena a mediana do tempo de coerência - 90%
Mediana	BC_50	Armazena a mediana do banda de coerência - 50%
Mediana	BC_90	Armazena a mediana do banda de coerência - 90%
medianadB		Armazena o valor da mediana em dB
medianaI		Armazena o valor da mediana do Ramo I
medianaQ		Armazena o valor da mediana do Ramo Q
medianaW		Armazena o valor da mediana em Watts
minimodB		Armazena o valor mínimo de Ph (dBm)
minimoW		Armazena o valor mínimo de Ph (Watts)
N		Variável de uso geral para armazenamento temporário
nome_arquivo		Armazena o nome do arquivo de dados
nome_janela		Armazena o nome da janela selecionada
nomearquivosresultante		Armazena o nome do arquivo de saída
nomedoarquivo		Armazena o nome do arquivo selecionado
num		Variável de uso geral para armazenamento temporário
numerodeamostras		Armazena o número de amostras para o processamento de cada perfil
numerodeperfis_proc		Armazena o número de perfis processados
numeroderetardos		Armazena a quantidade de retardos da variável picos
perfil_final		Armazena o número do perfil de fim de movimento

perfil_inicial		Armazena o número do perfil de início de movimento
picos		Armazena a posição de cada amostra onde ocorreu pico de correlação
posicao		Variável de uso geral para armazenar informação de posicionamento
resolucao_bc		Armazena a resolução para o cálculo da banda de coerência
resolucao_dp		Armazena a resolução para o cálculo do Doppler
resolucao_tc		Armazena a resolução para o cálculo do tempo de coerência
ResRet		Armazena a resolução de retardo
retardo		Armazena o tempo máximo de retardo a ser considerado
rm		Variável de uso geral para armazenamento temporário
SCAL		Variável de uso geral para armazenamento temporário
selecao		Armazena número de arquivos selecionados
SORH		Variável de uso geral para armazenamento temporário
tc_50		Variável de uso geral para armazenamento temporário
tc_90		Variável de uso geral para armazenamento temporário
tecnica		Armazena qual a técnica selecionada para o processamento dos dados
tempodeperfis		Armazena o tempo de cada perfil em ms
tipo		Armazena o tipo de janela a ser usada no processamento dos perfis
TPTR		Variável de uso geral para armazenamento temporário
velmax		Armazena a velocidade máxima do receptor
velmin		Armazena a velocidade mínima do receptor
vetorperfil	velocidade_media	Armazena a velocidade média do perfil
vetorperfil	PAdBm	Armazena as amostras de potência em dBm
vetorperfil	RamoIAjustado	Armazena as amostras do Ramo I depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	RamoQAjustado	Armazena as amostras do Ramo Q depois do ajuste das perdas de amostras
vetorperfil	identificador	Armazena o número do perfil dentro do vetor de memória
VetRes	Id	Armazena a identificação dentro do Vetor de resultados
VetRes	Vm	Armazena a velocidade média dentro do Vetor de resultados
VetRes	Bt	Armazena a base de tempo dentro do Vetor de resultados
VetRes	RM	Armazena o retardo médio dentro do Vetor de resultados
VetRes	ER	Armazena o espalhamento de retardos dentro do Vetor de resultados
VetRes	bc_90	Armazena a banda de coerência de 90% dentro do Vetor de resultados
VetRes	bc_50	Armazena a banda de coerência de 50% dentro do Vetor de resultados
VetRes	RIs	Armazena a informação da fft de RIh dentro do Vetor de resultados
VetRes	Ps	Armazena a informação do módulo de RIs dentro do Vetor de resultados
VetRes	PH	Armazena a informação de PH dentro do Vetor de resultados
VetRes	tc_90	Armazena a tempo de coerência de 90% dentro do Vetor de resultados
VetRes	tc_50	Armazena a tempo de coerência de 50% dentro do Vetor de resultados
VetRes	DD	Armazena a informação de deslocamento Doppler dentro do Vetor de resultados
VetRes	ED	Armazena a informação de espalhamento Doppler dentro do Vetor de resultados

VPprocessado	identificador	Armazena o identificador do perfil inicial, após processamento
VPprocessado	velocidade_media	Armazena a velocidade média do perfil inicial, após processamento
VPprocessado	Ph_dBm	Armazena o valor das amostras do perfil de retardo de potência, em dBm
VPprocessado	Ph_W	Armazena o valor das amostras do perfil de retardo de potência, em Watts
VPprocessado	RamoIAjustado	Armazena as amostras do Ramo I depois do ajuste das perdas de amostras
VPprocessado	RamoQAjustado	Armazena as amostras do Ramo Q depois do ajuste das perdas de amostras
VPprocessado	ppc	Armazena a posição do pico de correlação
VPprocessado	Btemporel	Armazena a base de tempo dentro de cada perfil
VPprocessado	RIh	Armazena a informação de fase do perfil Ph_W
VPprocessado	Rt_bc	Armazena os valores da banda de coerência
VPprocessado	Rt_tc	Armazena os valores do tempo de coerência
wf		Armazena a janela a ser aplicada no domínio da frequência, retardo ou Doppler
wt		Armazena a janela a ser aplicada no domínio do tempo

Tabela B.1 – Tabela com a relação das variáveis e seus significados

APÊNDICE C: *janela.m* – Programa usado para o teste de janelas a serem implementadas no programa *processamento.m*.

```
% Programa desenvolvido para plotar as janelas e analisar o comportamento
% de sinais quando janelados.
clc;
clear all;
close all;

% A Rota 1_4 possui 1297 perfis de 1022 amostras cada
N = 1022; % Numero de pontos (ou amostras)
Tperfil = 51.1; % Tempo de duracao do perfil em ms
tempo = 0:(Tperfil/(N-1)):Tperfil; % Base de tempo
freq = (-10:(20/(N-1)):+10); %frequencia para o grafico

a = 1; % amplitude do sinal em Volts (1V)
fo = 5; % frequencia fundamental da senoide/cossenoide (5Hz)
fs = 1021; % frequencia de amostragem (1021Hz)
t = 0:(1/fs):1; % base de tempo de 1 segundo
f = (-fo:(2*fo/fs):fo); % frequencia para o grafico

% Relação de janelas a serem testadas e comparadas
w(:,1) = window(@blackman, N);
w(:,2) = window(@blackmanharris, N);
w(:,3) = window(@hamming, N);

w(:,4) = window(@hann, N);
w(:,5) = window(@chebwin, N);
w(:,6) = window(@gausswin, N, 2.5);

w(:,7) = window(@kaiser, N, 9);
w(:,8) = window(@tukeywin, N);
w(:,9) = window(@triang, N);

w(:,10) = window(@kaiser, N, 5);
w(:,11) = window(@kaiser, N, 7);
w(:,12) = window(@kaiser, N, 11);
w(:,13) = window(@kaiser, N, 13);

w(:,14) = window(@gausswin, N, 3.0);
w(:,15) = window(@gausswin, N, 3.5);

w(:,16) = window(@blackman, N, 'symmetric');
w(:,17) = window(@blackman, N, 'periodic');

% Impressão das janelas
figure (1)
plot(1:N,[w(:,2),w(:,3),w(:,4)]); axis([-3 (N+3) -0.5 1.5]);
legend('blackman-harris','hamming','hann');

figure (2)
plot(1:N,[w(:,5),w(:,8),w(:,9)]); axis([-3 (N+3) -0.5 1.5]);
legend('Chebyshev','tukey','triang');

figure (3)
plot(1:N,[w(:,10) w(:,11) w(:,7) w(:,12) w(:,13)]); axis([-3 (N+3) -0.5 1.5]);
legend('kaiser 5','kaiser 7','kaiser 9', 'kaiser 11', 'kaiser 13');

figure (4)
plot(1:N,[w(:,6) w(:,14) w(:,15)]); axis([-3 (N+3) -0.5 1.5]);
legend('gausswin 2.5','gausswin 3.0','gausswin 3.5');

figure (5)
plot(1:N,[w(:,16) w(:,17)]); axis([-3 (N+3) -0.5 1.5]);
legend('blackman symmetric','blackman periodic');

% Criando dois sinais deterministico para avaliar a resposta em frequencia
% após o uso de cada janela
A = a*sin(2*pi*fo*t);
B = a*cos(2*pi*fo*t);
fft_A = abs(fft(A));
fft_B = abs(fft(B));

% x = VPprocessado(201).RI, y = VPprocessado(200).RI, z = VPprocessado(204).RI
```

```

load dados.mat;
X = abs(x);
Y = abs(y);
Z = abs(z);
Ps_x = (abs(fft(x))).^2;
Ps_y = (abs(fft(y))).^2;
Ps_z = (abs(fft(z))).^2;

% Aplicando cada janela para avaliar a resposta nos sinais determinísticos
% e aleatórios
for contador = 1:17,
    Aj(contador,:) = A.*(w(:,contador));
    k = abs(fft(Aj(contador,:)));
    fft_Aj(contador,1:1022) = k(1:1022);
    Bj(contador,:) = B.*(w(:,contador));
    k = abs(fft(Bj(contador,:)));
    fft_Bj(contador,1:1022) = k(1:1022);
    xj(contador,:) = x.*(w(:,contador));
    Xj = abs(xj);
    k = (abs(fft(xj(contador,:)))).^2;
    Psj_x(contador,1:1022) = k(1:1022);
    yj(contador,:) = y.*(w(:,contador));
    Yj = abs(yj);
    k = (abs(fft(yj(contador,:)))).^2;
    Psj_y(contador,1:1022) = k(1:1022);
    zj(contador,:) = z.*(w(:,contador));
    Zj = abs(zj);
    k = (abs(fft(zj(contador,:)))).^2;
    Psj_z(contador,1:1022) = k(1:1022);
end
disp('.');
disp('0 - sair');
disp('.');
disp('1 - blackman | 2 - blackmanharris | 3 - hamming | 4 - hann | 5 - chebwin | 6 - gausswin com alpha = 2.5');
disp('7 - kaiser com beta = 9 | 8 - tukeywin | 9 - triang | 10 - kaiser com beta = 5 | 11 - kaiser com beta = 7');
disp('12 - kaiser com beta = 11 | 13 - kaiser com beta = 13 | 14 - gausswin com alpha = 3.0');
disp('15 - gausswin com alpha = 3.5 | 16 - blackman symmetric | 17 - blackman periodic');

tipo = input('\nEntre com o número do tipo de janela a ser plotada: ');
while ((tipo ~= 0)&&(tipo <= 17))
    switch (tipo)
        case 1
            c = 'Blackman';
        case 2
            c = 'Blackmanharris';
        case 3
            c = 'Hamming';
        case 4
            c = 'Hann';
        case 5
            c = 'Chebwin';
        case 6
            c = 'Gausswin com alpha = 2.5';
        case 7
            c = 'Kaiser com beta = 9';
        case 8
            c = 'Tukeywin';
        case 9
            c = 'Triang';
        case 10
            c = 'Kaiser com beta = 5';
        case 11
            c = 'Kaiser com beta = 7';
        case 12
            c = 'Kaiser com beta = 11';
        case 13
            c = 'Kaiser com beta = 13';
        case 14
            c = 'Gausswin com alpha = 3.0';
        case 15
            c = 'Gausswin com alpha = 3.5';
        case 16
            c = 'Blackman symmetric';
        case 17
            c = 'Blackman periodic';
    end
end

```

% impressão do sinal gerado janelado e sua respectiva resposta em frequencia

```
figure (6)
subplot (1,2,1)
plot(t, A, t, Aj(tipo,:), 'red', t, w(:,tipo), 'green');
legend('cosseno', 'cosseno janelado', 'janela');
xlabel ('tempo (s)');
ylabel ('a*cos(2*pi*fo*t)');
grid on; zoom on;
title (sprintf('Janela de %s', c));
subplot (1,2,2)
plot(f, fft_A, f, fft_Aj(tipo,:), 'red');
axis([-6 +6 (-0.1*min(fft_A(:))) (+1.1*max(fft_A(:)))]);
legend('fft do cosseno', 'fft do cosseno janelado');
xlabel ('frequencia (Hz)');
title ('FFT');
grid on; zoom on;
```

```
figure (7)
subplot (1,2,1)
plot(t, B, t, Bj(tipo,:), 'red', t, w(:,tipo), 'green');
legend('seno', 'seno janelado', 'janela');
xlabel ('tempo (s)');
ylabel ('a*sin(2*pi*fo*t)');
grid on; zoom on;
title (sprintf('Janela de %s', c));
subplot (1,2,2)
plot(f, fft_B, f, fft_Bj(tipo,:), 'red');
axis([-6 +6 (-0.1*min(fft_B(:))) (+1.1*max(fft_B(:)))]);
legend('fft do seno', 'fft do seno janelado');
xlabel ('frequencia (Hz)');
title ('FFT');
grid on; zoom on;
```

```
figure (8)
subplot (1,2,1)
plot(tempo, X, tempo, Xj(tipo,:), 'red', tempo, w(:,tipo), 'green');
axis([-5 +55 (-0.1*min(X(:))) (+1.1*max(X(:)))]);
legend('VP(201).Ph_W', 'VP(201).Ph_W janelado', 'janela');
xlabel ('Amostras');
ylabel ('VPprocessado(201).Ph_W');
grid on; zoom on;
title (sprintf('Janela de %s', c));
subplot (1,2,2)
plot(freq, Ps_x(:), freq, Psj_x(tipo,:), 'red');
axis([-11 11 (-0.1*min(Ps_x(:))) (+1.1*max(Ps_x(:)))]);
legend('VP(201).Ps', 'VP(201).Ps janelado');
xlabel ('frequencia (Hz)');
title ('FFT');
grid on; zoom on;
```

```
figure (9)
subplot (1,2,1)
plot(tempo, Y, tempo, Yj(tipo,:), 'red', tempo, w(:,tipo), 'green');
axis([-5 +55 (-0.1*min(Y(:))) (+1.1*max(Y(:)))]);
legend('VP(200).Ph_W', 'VP(200).Ph_W janelado', 'janela');
xlabel ('Amostras');
ylabel ('VPprocessado(200).Ph_W');
grid on; zoom on;
title (sprintf('Janela de %s', c));
subplot (1,2,2)
plot(freq, Ps_y(:), freq, Psj_y(tipo,:), 'red');
axis([-11 11 (-0.1*min(Ps_y(:))) (+1.1*max(Ps_y(:)))]);
legend('VP(200).Ps', 'VP(200).Ps janelado');
xlabel ('frequencia (Hz)');
title ('FFT');
grid on; zoom on;
```

```
figure (10)
subplot (1,2,1)
plot(tempo, Z, tempo, Zj(tipo,:), 'red', tempo, w(:,tipo), 'green');
axis([-5 +55 (-0.1*min(Z(:))) (+1.1*max(Z(:)))]);
legend('VP(204).Ph_W', 'VP(204).Ph_W janelado', 'janela');
xlabel ('Amostras');
ylabel ('VPprocessado(204).Ph_W');
grid on; zoom on;
```

```

title (sprintf('Janela de %s', c));
subplot (1,2,2)
plot(freq, Ps_z(:), freq, Psj_z(tipo,:), 'red');
axis([-11 11 (-0.1*min(Ps_z(:))) (+1.1*max(Ps_z(:)))]);
legend('VP(204).Ps', 'VP(204).Ps janelado');
xlabel ('frequencia (Hz)');
title ('FFT');
grid on; zoom on;

tipo = input ('Entre com o numero do tipo de janela a ser plotada: ');
end

```

Variável	Significado
tipo	Variável de uso geral para armazenar temporário
c	Variável de uso geral para armazenar temporário
contador	Variável de uso geral para armazenar informação de incremento
N	Armaneza o número de amostras do perfil
(.)j	Armazena o resultado de todas as variáveis usadas depois de janeladas
Ps_x	Armazenas o módulo da FFT do perfil armazenados em x
Ps_y	Armazenas o módulo da FFT do perfil armazenados em y
Ps_z	Armazenas o módulo da FFT do perfil armazenados em z
X	Armazenas o módulo do perfil armazenados em x
Y	Armazenas o módulo do perfil armazenados em y
Z	Armazenas o módulo do perfil armazenados em z
fft_A	Armazena a FFT do sinal armazenado em A
fft_B	Armazena a FFT do sinal armazenado em B
B	Variável de uso geral para armazenar as amostras do sinal cossenoidal
A	Variável de uso geral para armazenar as amostras do sinal senoidal
w	Variável de uso geral para armazenar as amostras de cada janela selecionada
f	Armazena a frequência para plotar o gráfico
t	Armazena a base de tempo
fs	Armazena a frequência de amostragem
fo	Armazena a frequência fundamental
a	Armazena a amplitude do sinal em volts
freq	Armazena a frequência para plotar o gráfico
tempo	Armazena a base de tempo em função do número de amostras
Tperfil	Armazena a duração do perfil

Tabela C.1 – Tabela com a relação das variáveis e seus significados

APÊNDICE D: Janelas e sua influência nos perfis de retardo de potência

No programa de processamento dos dados (processamento.m) é prevista a opção de escolha entre duas técnicas de limpeza e a utilização de vários tipos de filtros de janela para o cálculo da Transformada de Fourier, conforme mencionado no item 3.2.8, do capítulo 3.

Previamente à execução do programa foram realizados alguns testes usando sinais determinísticos e sinais aleatórios, o segundo sendo sinais adquiridos nas medições realizadas. O intuito destes testes foi determinar o melhor tipo de janelamento a ser utilizado. Para tanto foram testados vários tipos de janelas e são mostrados aqui as consideradas melhores para a devida aplicação no processamento dos dados adquiridos.

O procedimento para os testes foi plotar os sinais (determinístico e aleatório) e suas respectivas transformadas de Fourier. Na mesma figura, porém em cores diferentes, foram plotadas a janela utilizada, o sinal janelado e suas respectivas transformadas de Fourier.

Como sinal determinístico foram utilizados sinais senoidais e cossenoidas, por se saber o resultado de suas respectivas transformadas de Fourier. Como sinal aleatório os perfis 200, 201 e 204 da primeira rota, que em consequência das perdas de amostras, estavam com os picos de correlação localizados no início, meio e fim dos perfis, respectivamente.

Como critério para a escolha dos tipos de janelas a serem utilizadas, foram consideradas as que causaram a menor alteração do sinal no domínio do tempo, de forma a minimizar os efeitos do janelamento sobre os picos de correlação. Esse critério visa minimizar os efeitos do janelamento no resultado da banda de coerência, quando o janelamento é realizado no domínio do tempo, e no tempo de coerência e parâmetros Doppler, quando realizado no domínio do retardo e Doppler, respectivamente.

Nas Figuras de D.1 a D.5, são plotadas as janelas analisadas para o processamento.

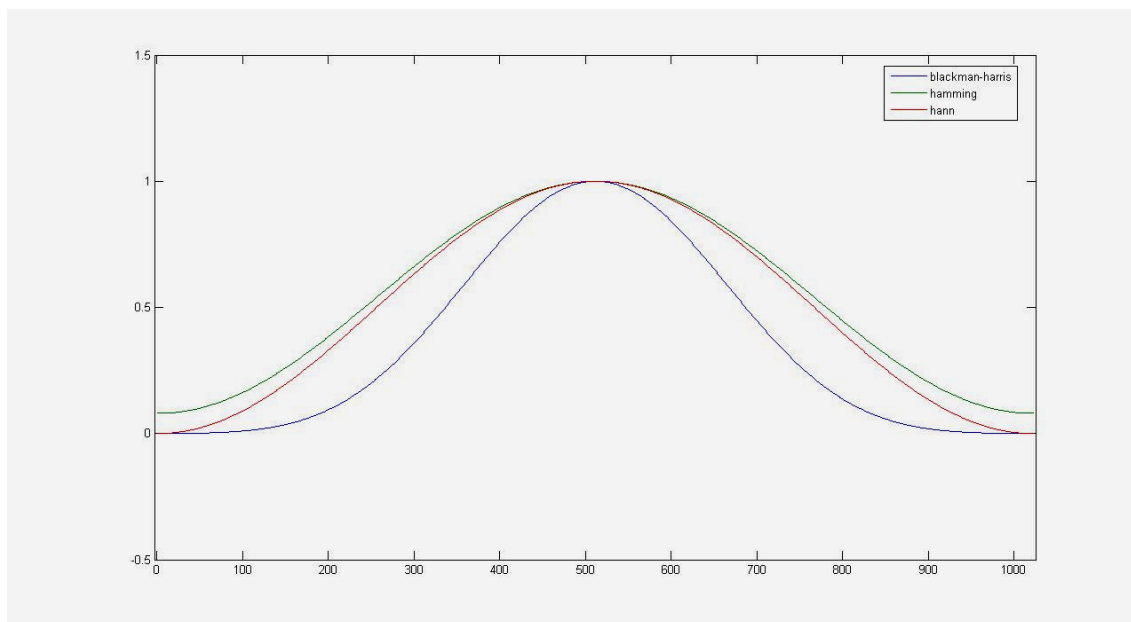


Fig D.1 - Janelas de Blackman-Harris, Hamming e Hann.

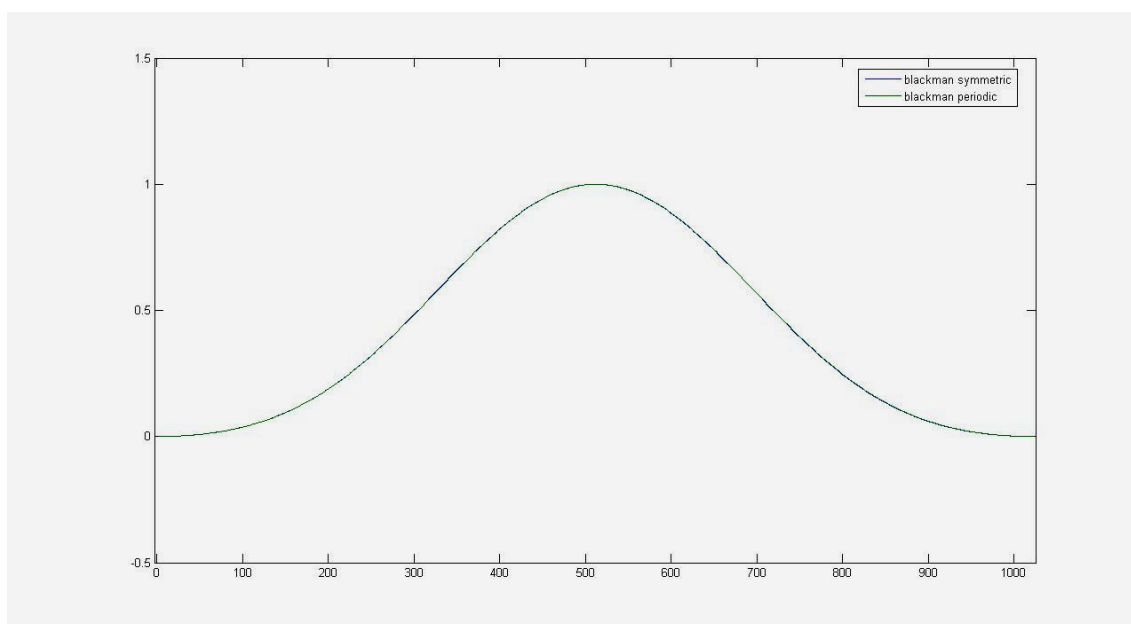


Fig D.2 - Janelas Blackman.

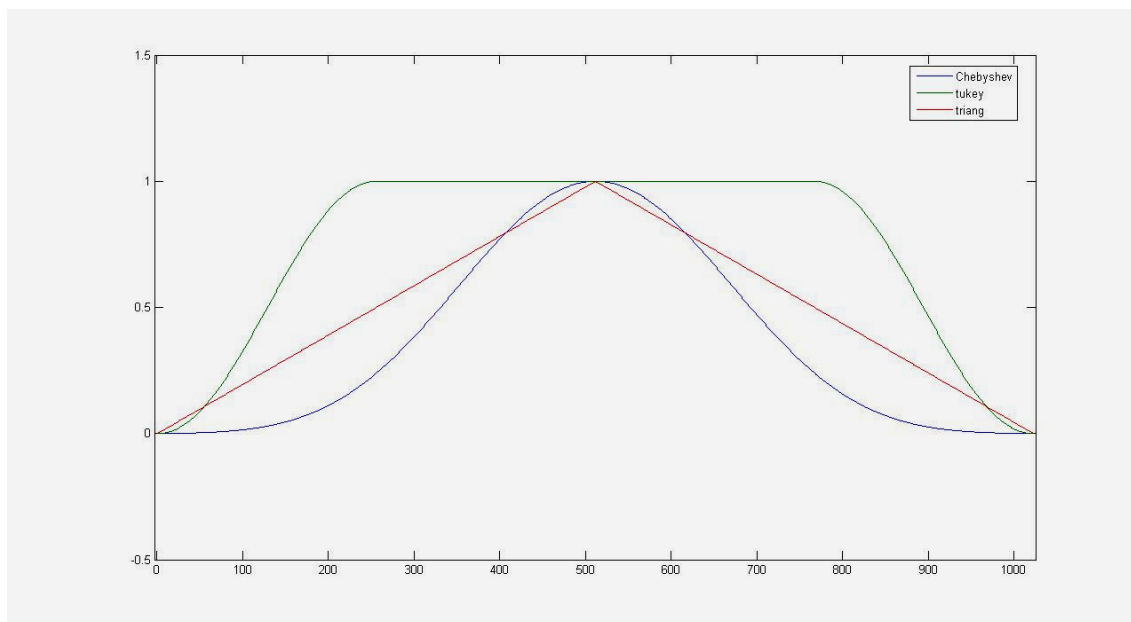


Fig D.3 - Janelas de Chebyshev, Turkey e triangular.

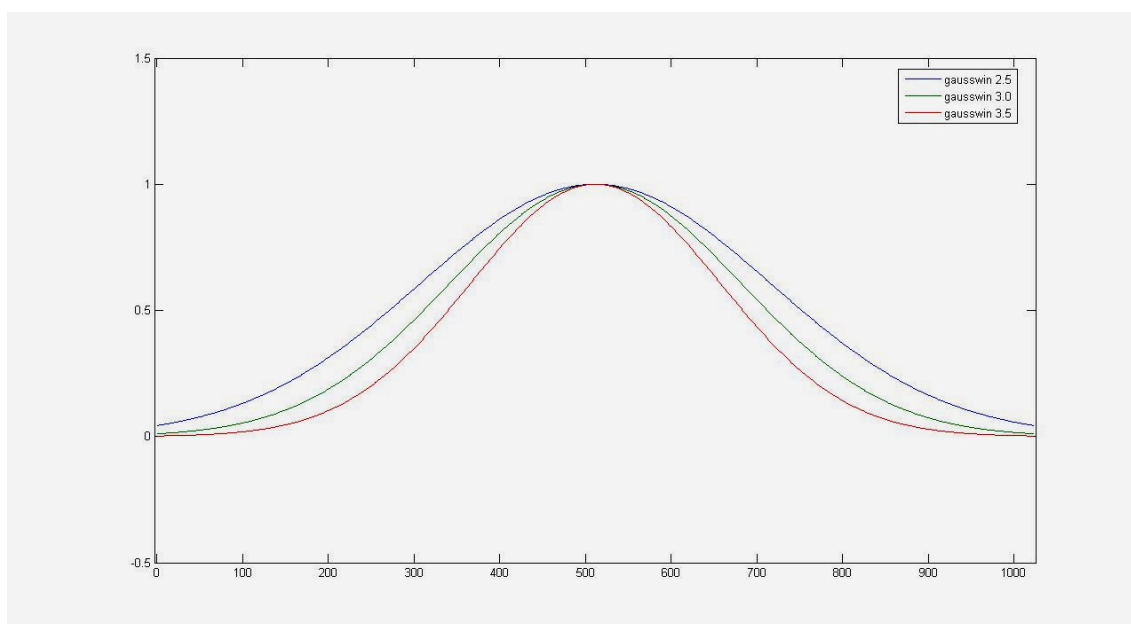


Fig D.4 - Janelas Gaussinanas.

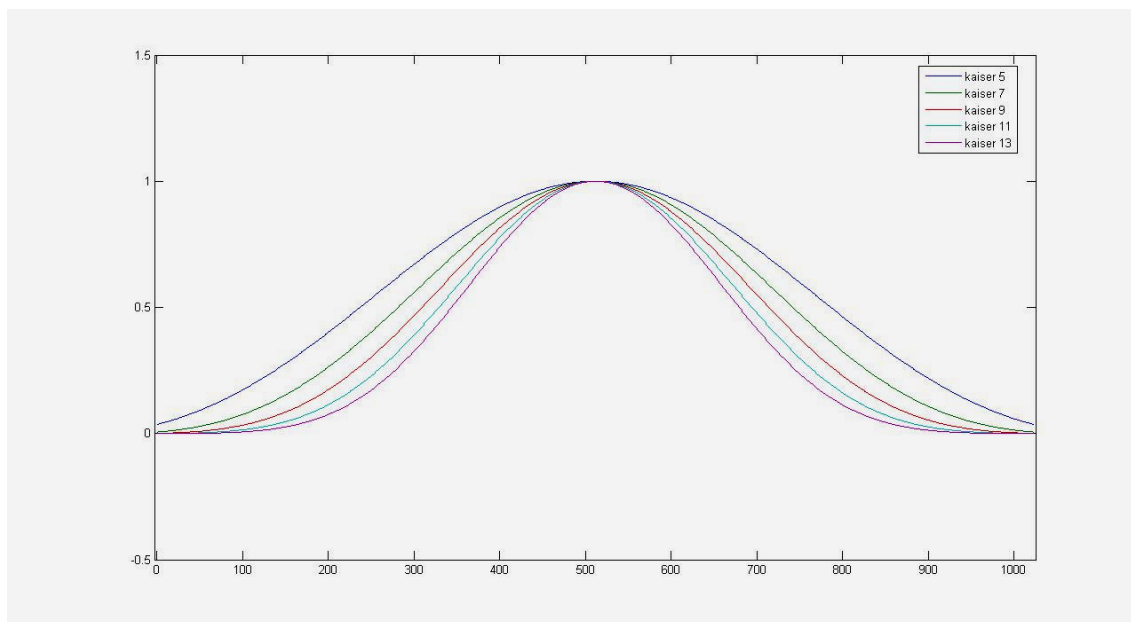


Fig D.5 - Janelas de Kaiser.

Das janelas testadas, as que menos alteraram o sinal foram as janelas de Hamming e Kaiser. Nas Figuras de D.6 a D.9, são plotados os sinais cossenoidal ou senoidal usando essas janelas, neste caso, a janela de Kaiser Bessel teve seu parâmetro ajustado para beta igual a 9, observa-se que ocorre um achatamento nas extremidades do sinal e uma redução na amplitude do resultado da transformada de Fourier após o janelamento, como esperado.

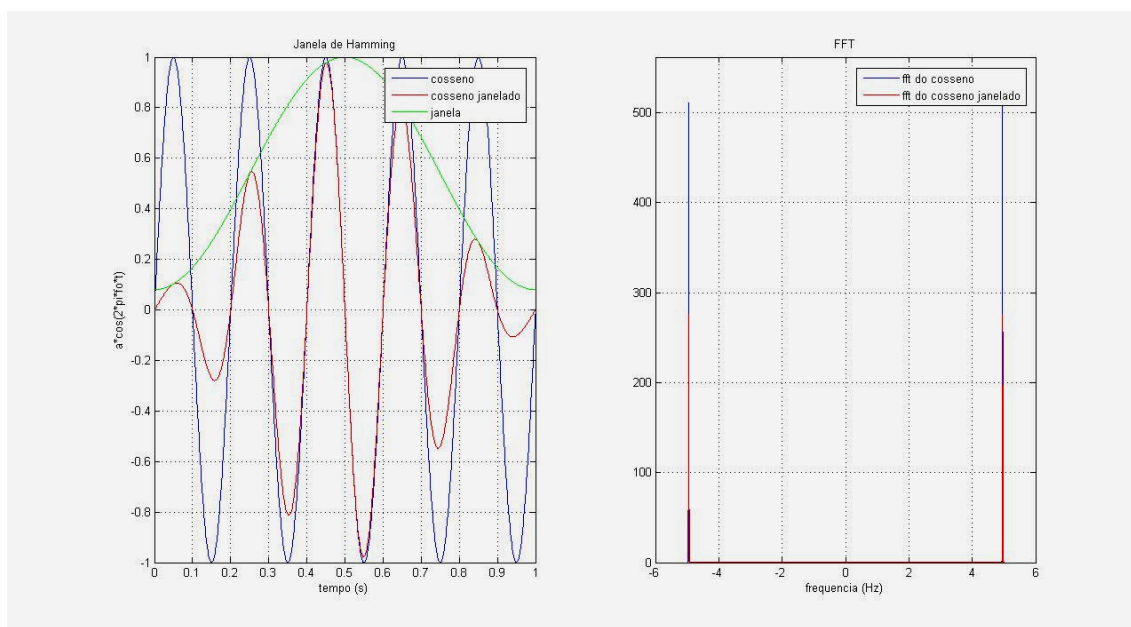


Fig D.6 - Sinal cossenoidal e sua respectiva FFT, usando janela Hamming.

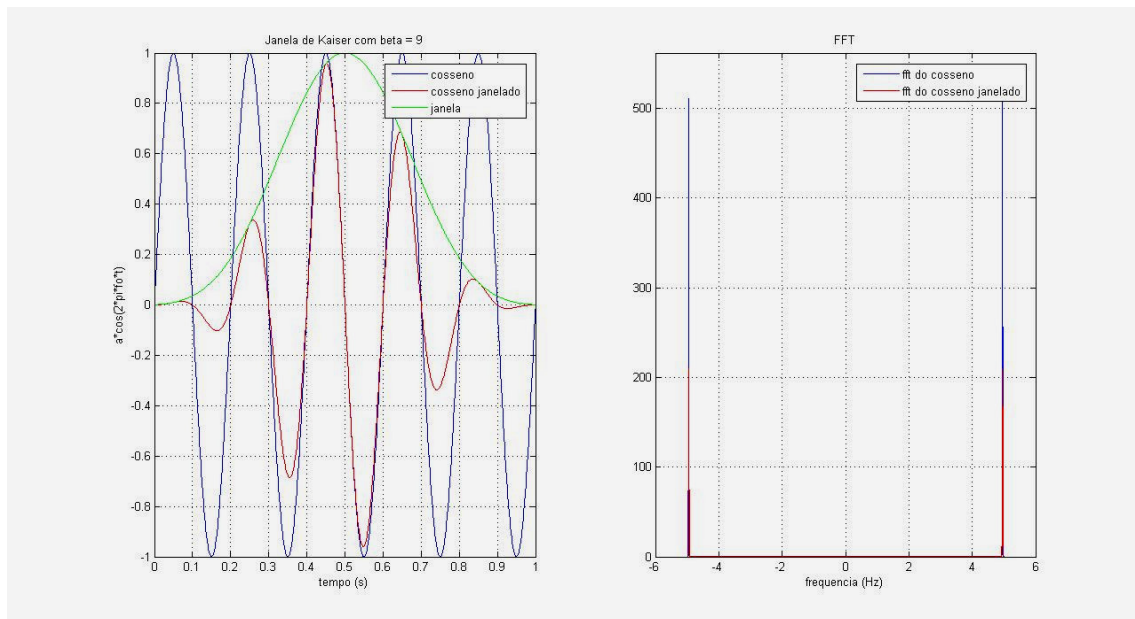


Fig D.7 - Sinal cosenoidal e sua respectiva FFT, usando janela Kaiser.

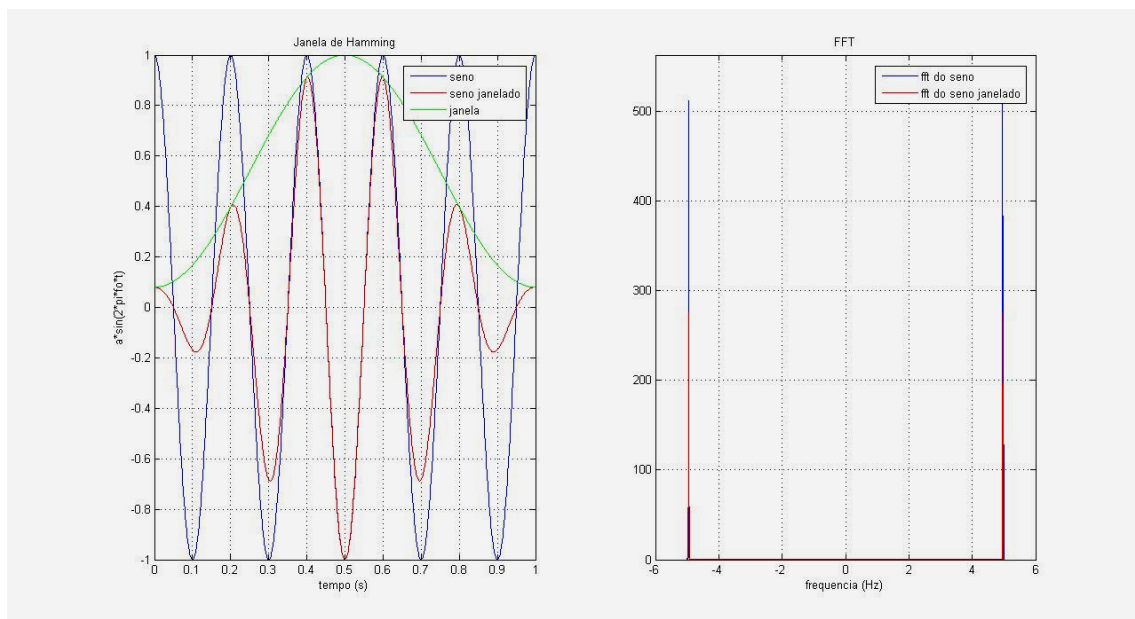


Fig D.8 - Sinal senoidal e sua respectiva FFT, usando janela Hamming.

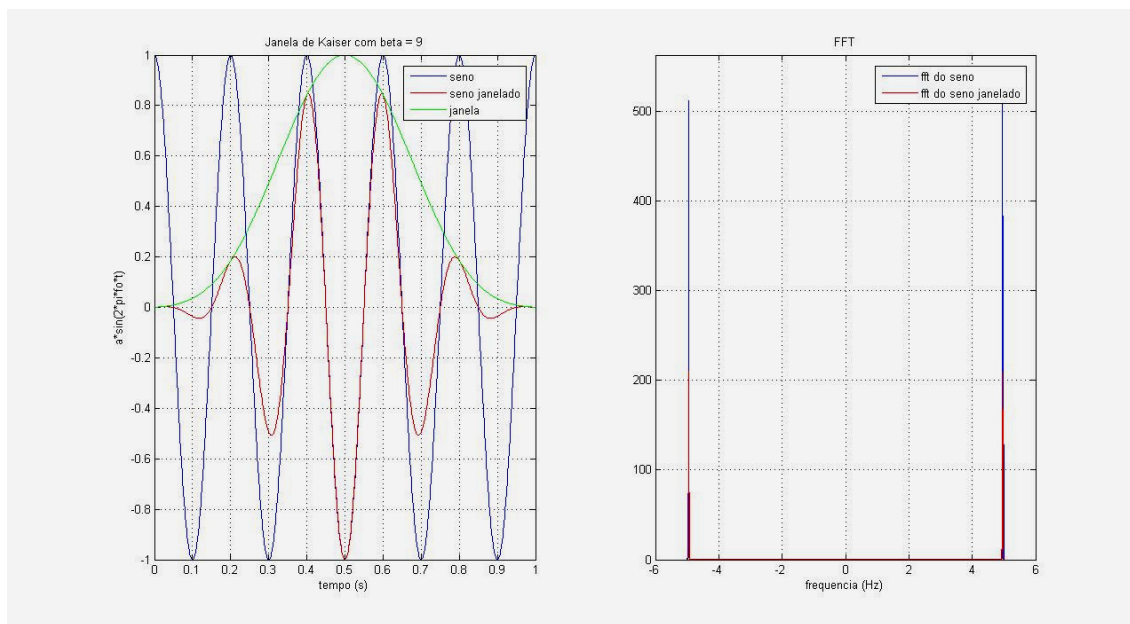


Fig D.9 - Sinal senoidal e sua respectiva FFT, usando janela Kaiser.

Nas figuras de D.10 a D.15, são plotados os sinais aleatórios usando janelas de Hamming e Kaiser e observa-se uma maior alteração no sinal, no domínio do tempo, quando é usada a janela de Kaiser, relativa a de Hamming. Como consequência, observa-se a alteração no resultado da transformada de Fourier, sendo mais percebida com o uso da janela Kaiser. É interessante observar que esta alteração é menos percebida quando os picos de correlação ocorrem no meio do perfil.

Assim, baseado no resultado dos testes das janelas, optou-se por usar janela Hamming com os picos de correlação alinhados na amostra intermediária, sendo essa a amostra de transição do sinal de alinhamento, de forma a minimizar os efeitos do janelamento em cima dos multipercursos adquiridos.

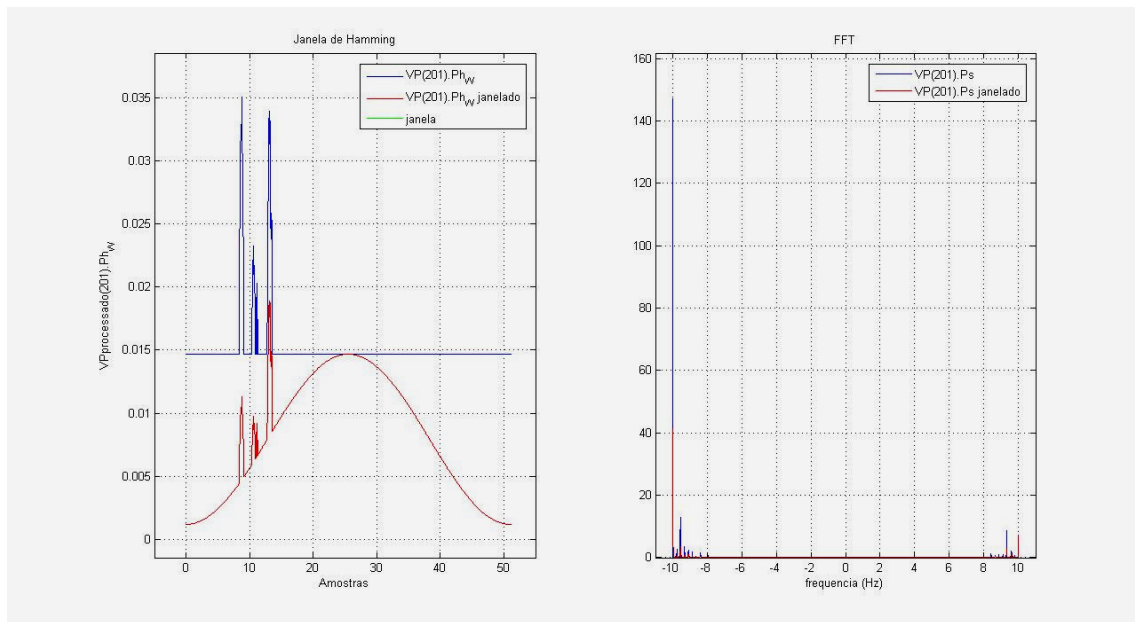


Fig D.10 - Picos de correlação alinhados no início do perfil e sua respectiva FFT, usando janela Hamming.

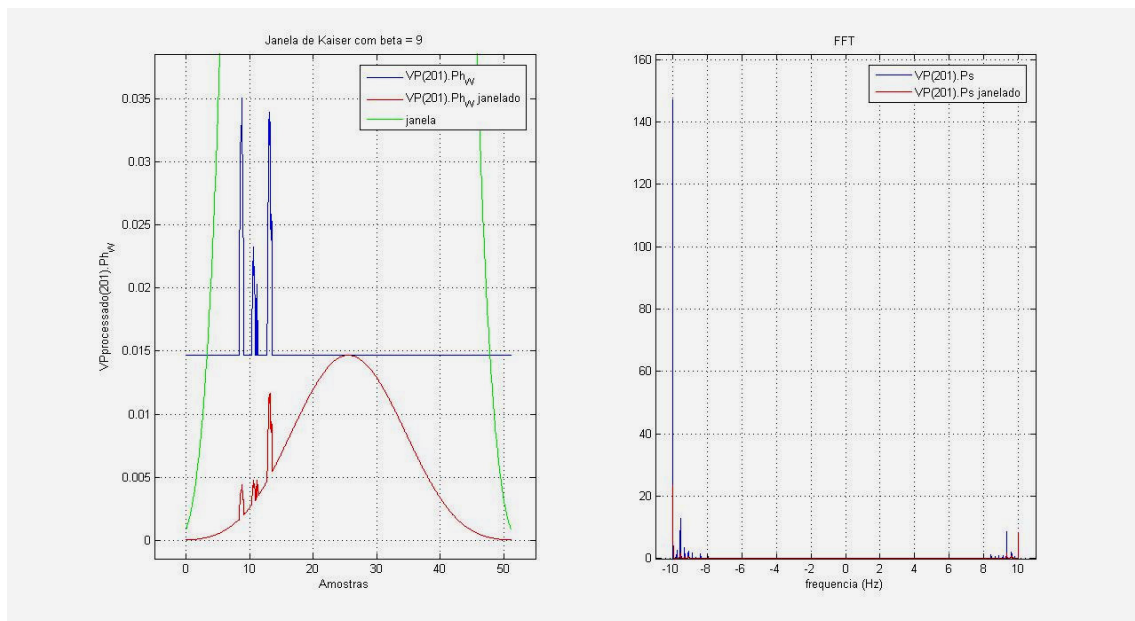


Fig D.11 - Picos de correlação alinhados no início do perfil e sua respectiva FFT, usando janela Kaiser.

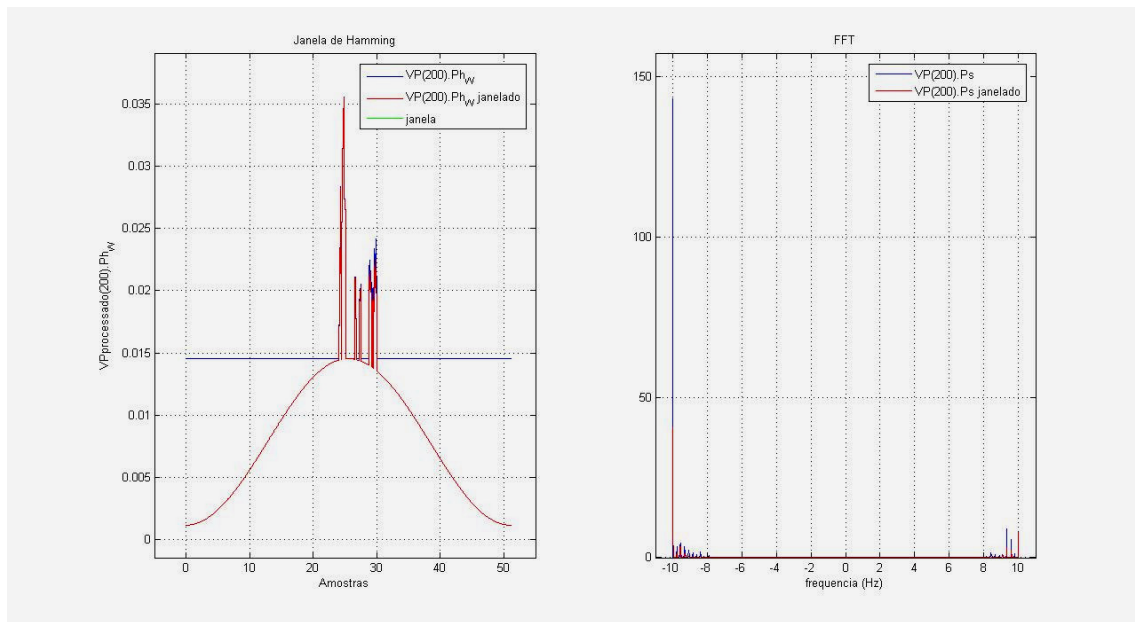


Fig D.12 - Picos de correlação alinhados no meio do perfil e sua respectiva FFT, usando janela Hamming.

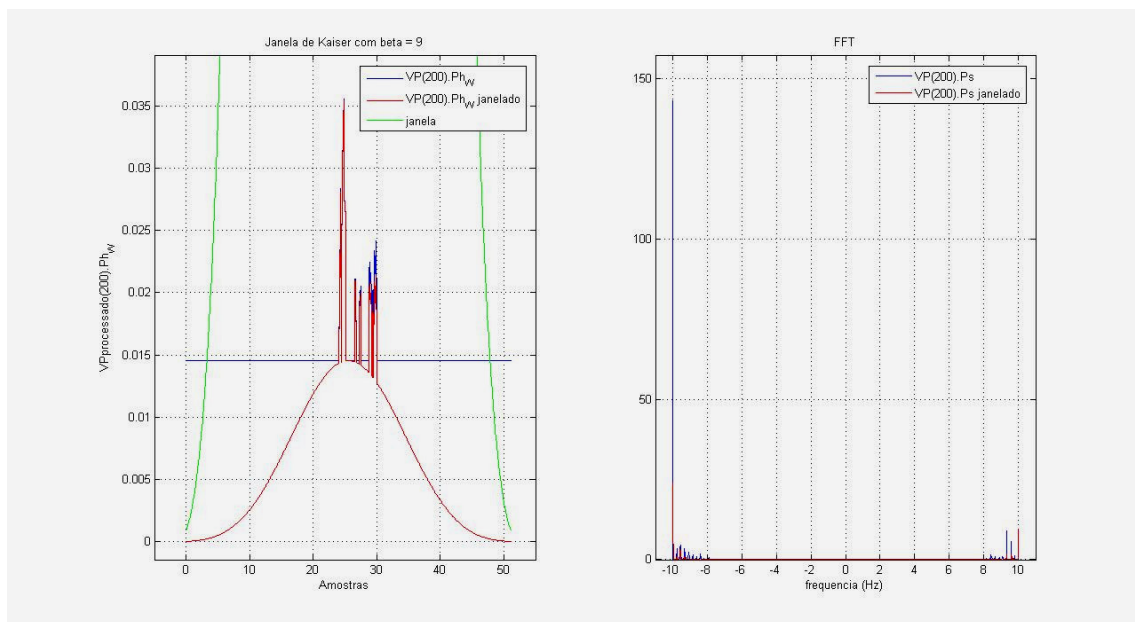


Fig D.13 - Picos de correlação alinhados no início do perfil e sua respectiva FFT, usando janela Kaiser.

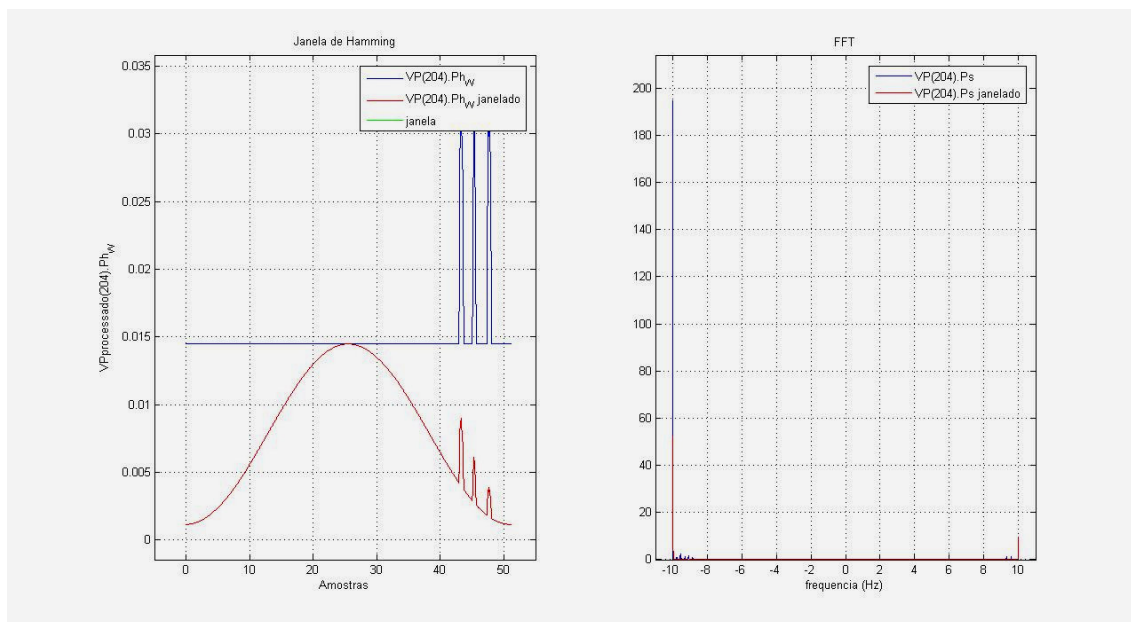


Fig D.14 - Picos de correlação alinhados no fim do perfil e sua respectiva FFT, usando janela Hamming.

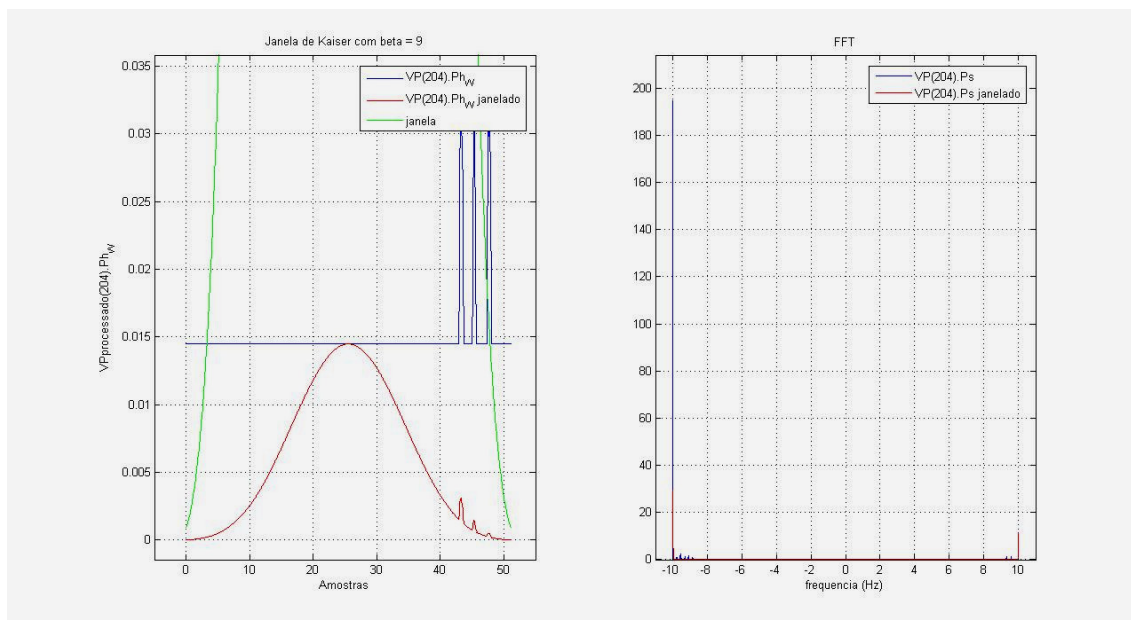


Fig D.15 - Picos de correlação alinhados no início do perfil e sua respectiva FFT, usando janela Kaiser.

No apêndice E são mostrados os parâmetros obtidos com diferentes janelas e técnicas de limpeza empregadas por Sousa e WDen.

APÊNDICE E: Influência da janela e da técnica de limpeza empregadas na determinação dos parâmetros do canal radiomóvel

Este apêndice tem como intuito analisar as principais diferenças nos resultados obtidos devido à utilização das técnicas empregadas por Sousa (técnica A) e WDen (técnica B), e diferentes tipos de janelas disponíveis.

Utilização da técnica de Sousa e comparação com WDen

Usando o mesmo procedimento aplicado no capítulo 4, os mesmos perfis foram processados usando técnica A. As Figuras E.1, E.2 e E.3 mostram respectivamente, um mesmo perfil medido, tratado usando a técnica A, e tratado usando a técnica B. Para a aplicação da segunda técnica, foi considerada para a composição do limiar de detecção a informação do desvio quartil sobre a mediana do ruído, uma vez que a presença dos picos de correlação com amplitude muito superior ao valor do ruído médio têm forte contribuição para a composição da mediana.

O perfil da Figura E.1 representa a chegada de um raio em visada direta, observa-se que os multipercursos estão com amplitude consideravelmente mais baixa que o valor do raio principal. Conforme pode ser visto na Figura E.2, a técnica A eliminou todas as ocorrências de multipercursos, ficando apenas o raio de visada direta. O mesmo não ocorre quando é empregada a outra técnica, que preserva a incidência do raio direto e do multipercurso.

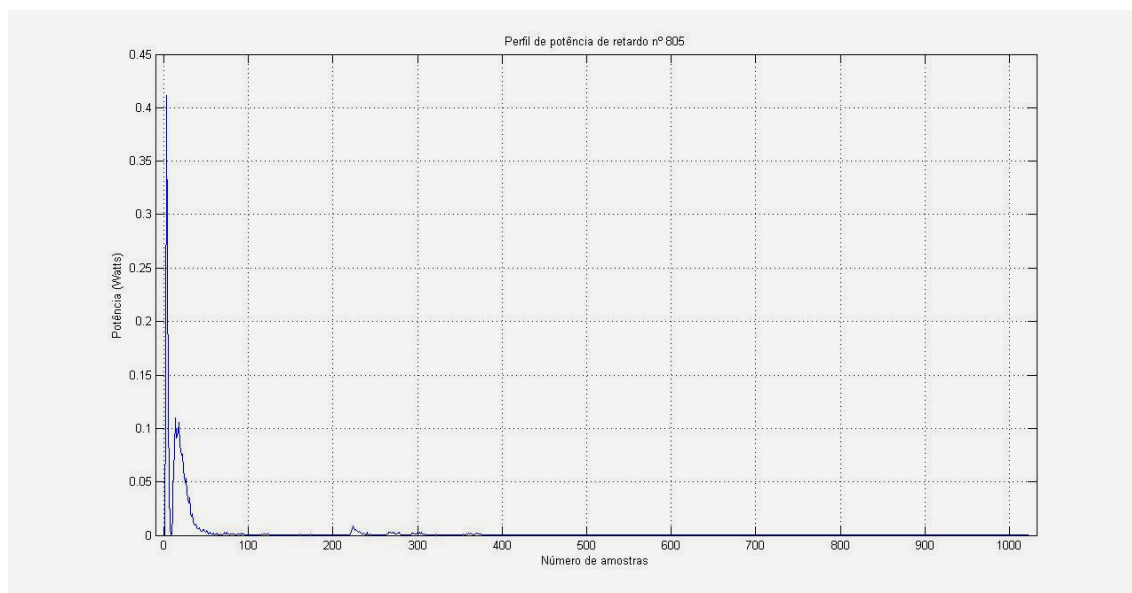


Fig E.1 – Perfil nº 805 da rota PUC1-1A.

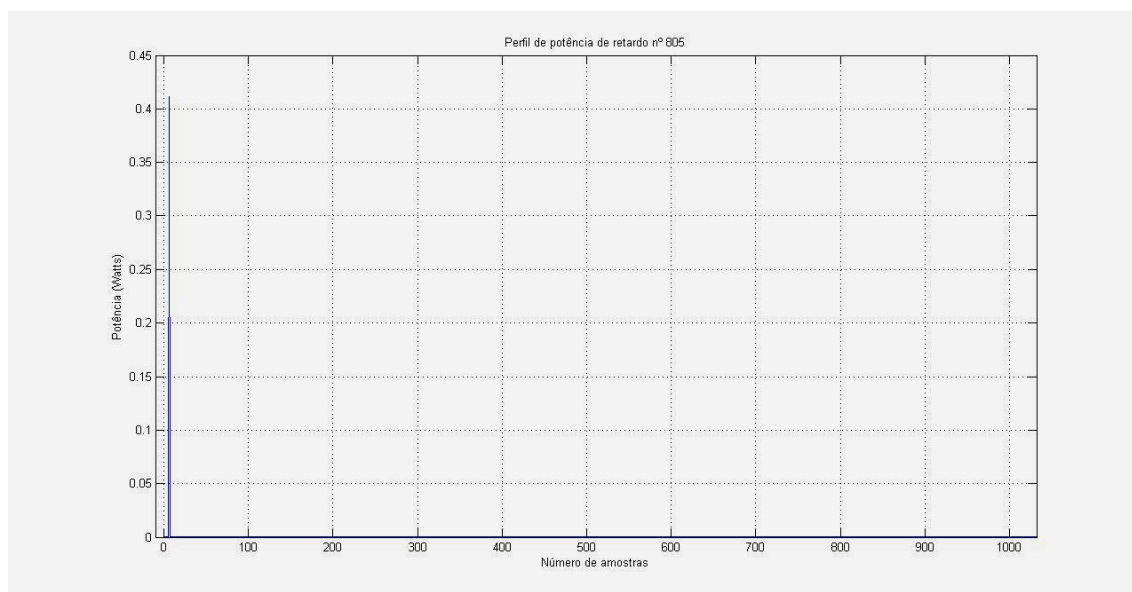


Fig E.2 – Perfil nº 805 da rota PUC1-1A, tratado a técnica A.

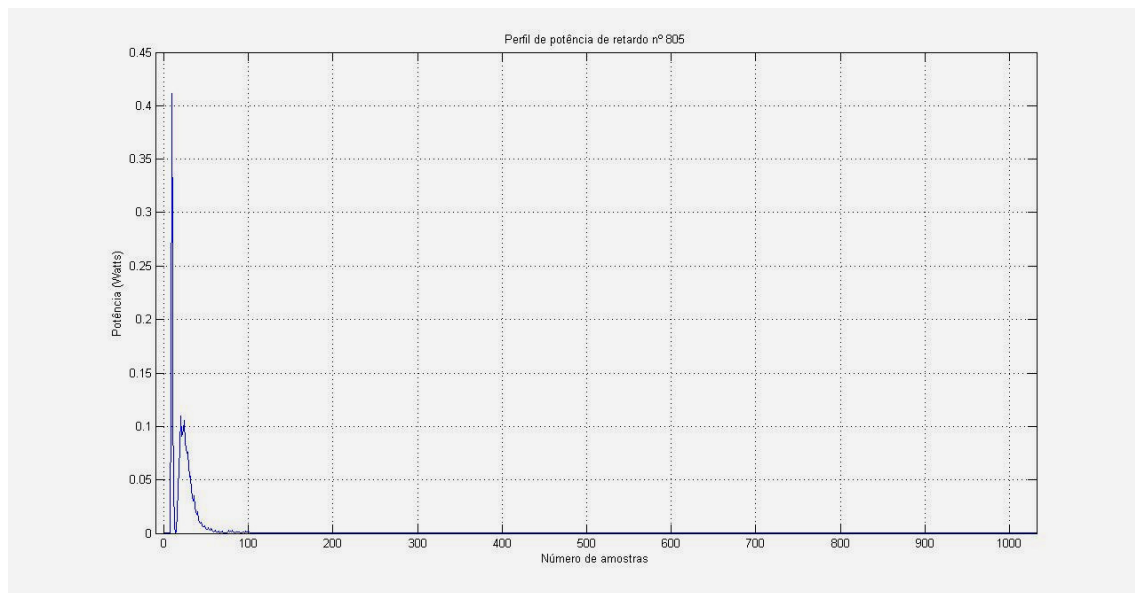


Fig E.3 – Perfil nº 805 da rota PUC1-1A, tratado usando a técnica B.

Quando o mesmo procedimento é aplicado em um perfil sem raio de visada, como mostrado na Figura E.4, o resultado da técnica A se aproxima mais do resultado da técnica B, conforme pode ser observado nas Figuras E.5 e E.6, respectivamente.

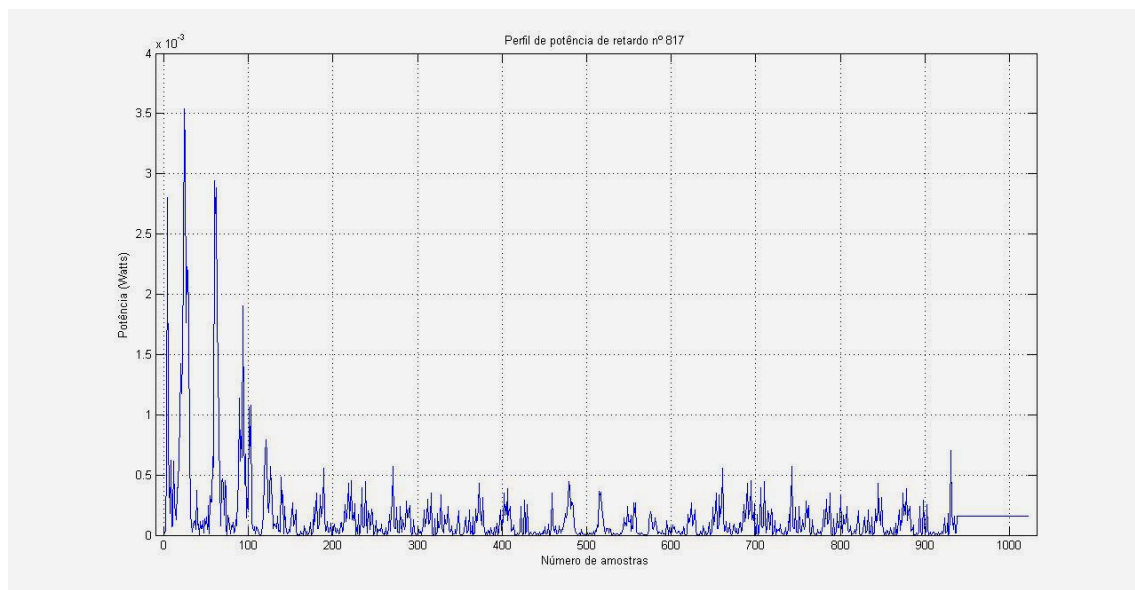


Fig E.4 – Perfil nº 816 da rota PUC1-1A

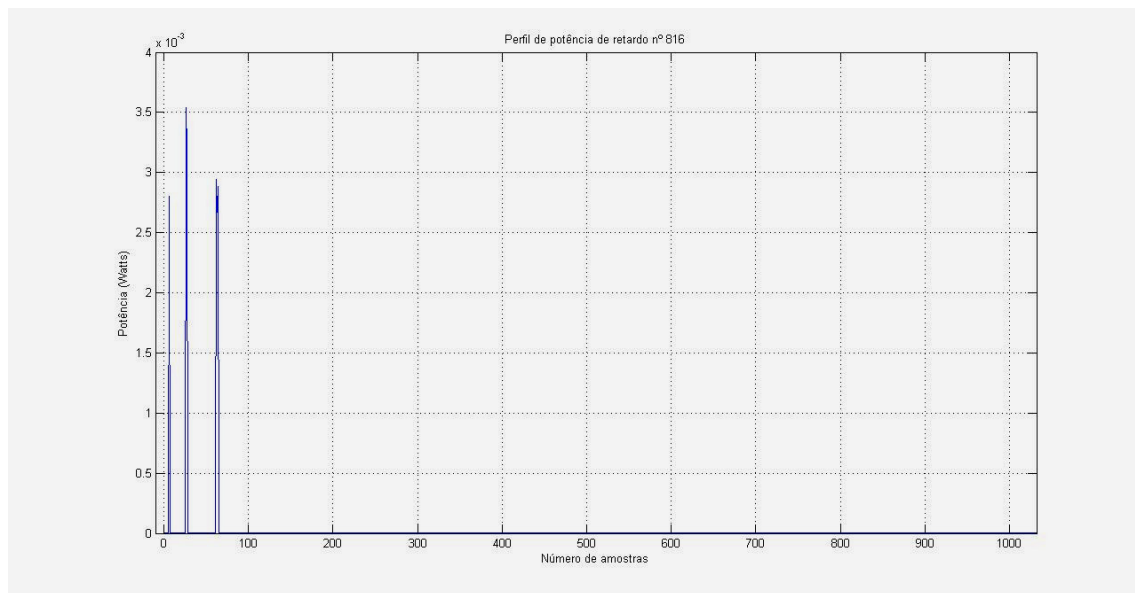


Fig E.5 – Perfil nº 816 da rota PUC1-1A, tratado usando a técnica A.

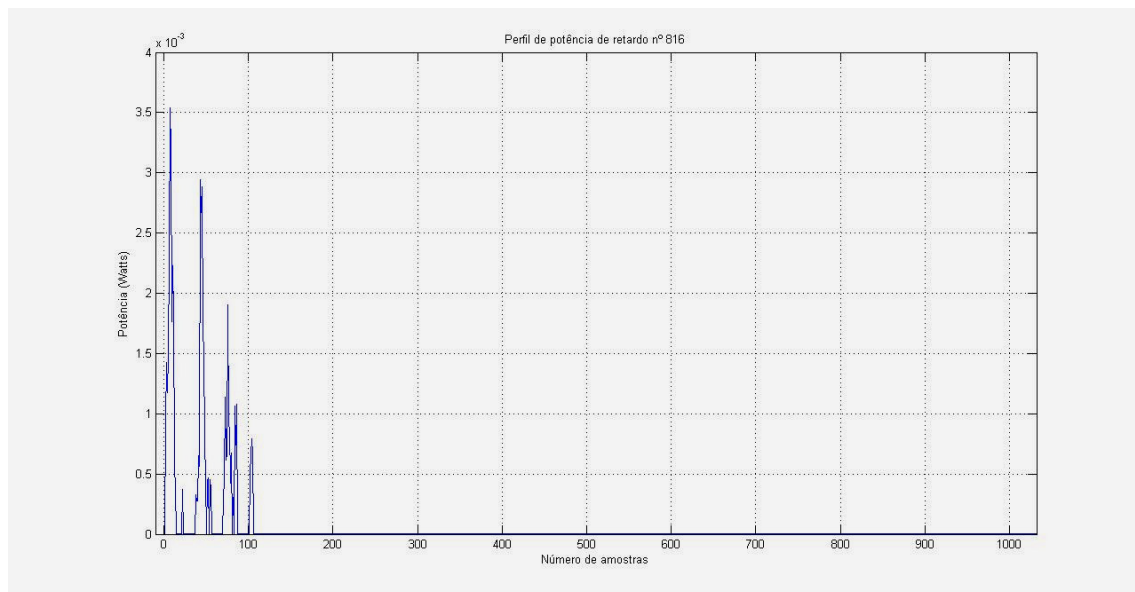


Fig E.6 – Perfil nº 816 da rota PUC1-1A, tratado usando a técnica B.

Ressalta-se que nos casos em que foi observado um raio predominante nos perfis, mesmo não sendo de visada direta, a técnica A tendeu a eliminar uma quantidade maior de multipercursos e a B tendeu a apresentar um resultado final contendo um perfil menos limpo do que o desejado, o que pode ser observado nos perfis E.7, E.8 e E.9.

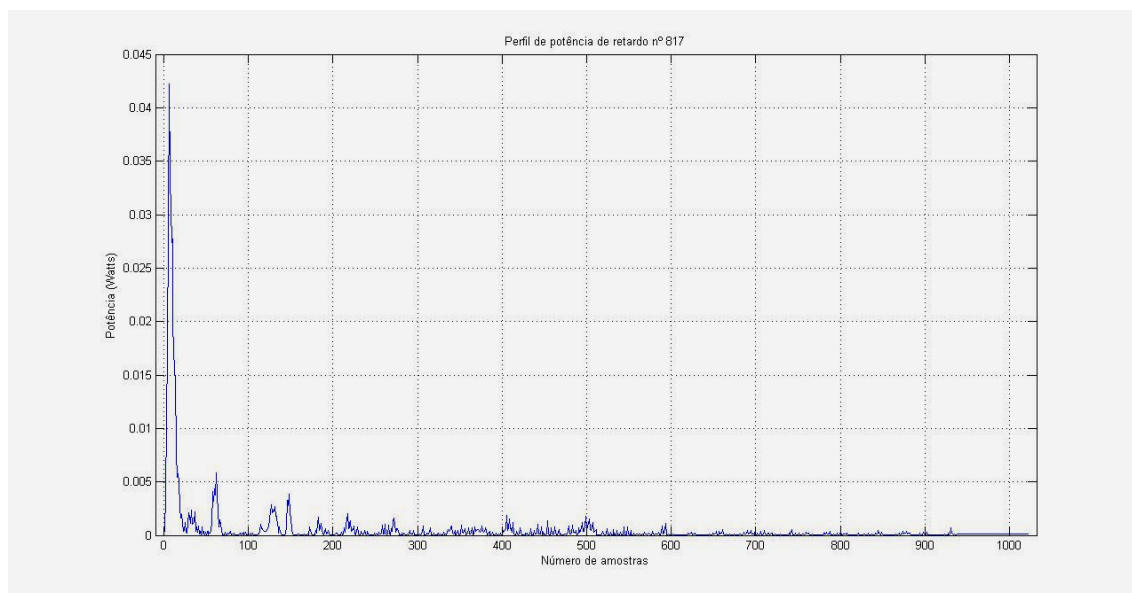


Fig E.7 – Perfil nº 817 da rota PUC1-2A

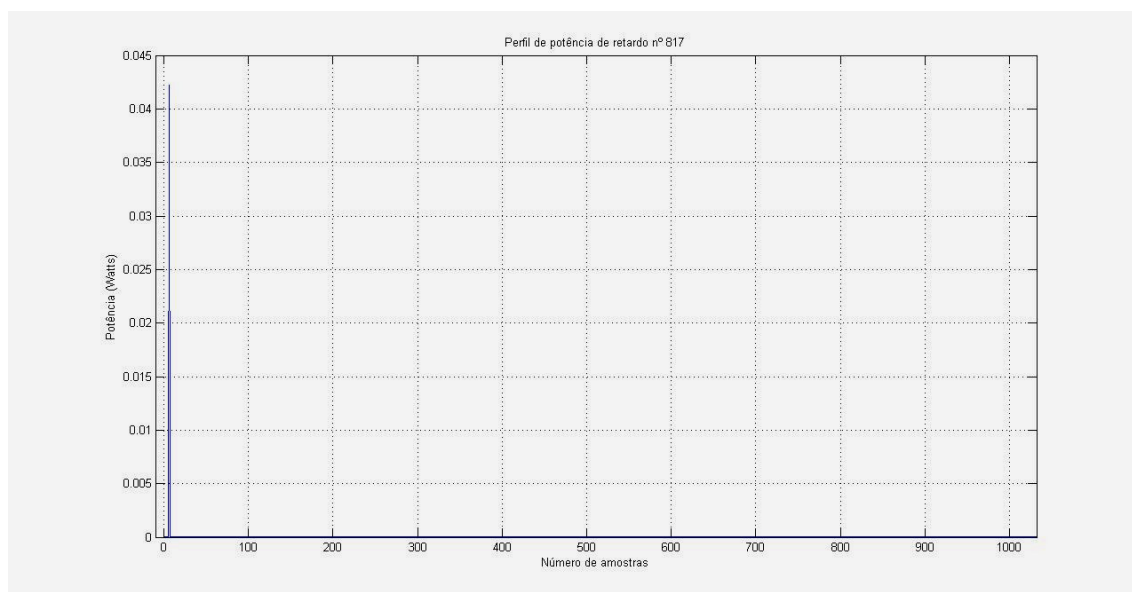


Fig E.8 – Perfil nº 817 da rota PUC1-2A, tratado usando a técnica A.

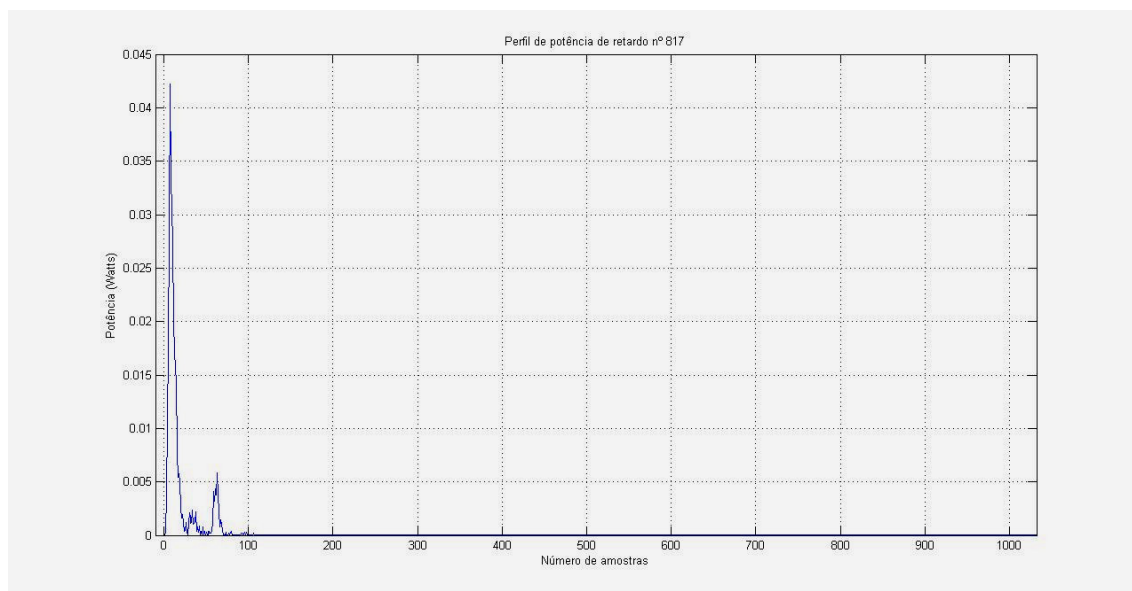


Fig E.9 – Perfil nº 817 da rota PUC1-2A, tratado usando a técnica B.

Na Tabela E.1, encontram-se os resultados dos parâmetros de dispersão temporais encontrados (retardo médio, retardo eficaz e banda de coerência para 90% de correlação) quando apenas a técnica A foi aplicada. Um comparativo entre as duas técnicas de limpeza é mostrado na Tabela E.2, onde estão relacionados os valores de retardo médio e eficaz e pode-se observar a diferença no resultado dos parâmetros adquiridos. Enquanto os parâmetros de retardo médio e eficaz se mostravam com pequenos desvios na técnica B, mostrando a validade dos perfis na formação de um processo quase estacionário no sentido amplo, com a técnica A tal fato já não ocorre, possivelmente devido ao patamar de ruído adotado, devendo ser feito um estudo mais aprofundado do uso deste patamar, com muitos testes.

Rota	Grupo	Retardo (microssegundos)						Banda de Coerencia - 90% (kHz)			Dados da Rota	
		Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	1A	1,5534	0,9111	1,7239	1,1502	0,6334	1,3007	558,2700	225,8300	67,9470	Transversal	P => L
	1B	1,4511	1,0091	1,8474	1,0281	0,7250	1,2288	930,3500	291,5600	461,3900	Transversal	L => P
	2A	1,9168	0,7022	2,0181	1,3923	0,4701	1,4816	89,9730	88,9000	59,5840	Transversal	P => L
	2B	1,9805	0,5413	2,0600	1,3560	0,3581	1,3085	74,0930	76,2020	15,6090	Transversal	L => P
	3A	0,1795	0,0564	0,1954	0,1199	0,0381	0,1472	281,6300	164,7800	29,2590	Transversal	P => L
	3B	1,6735	0,9112	1,8039	1,1894	0,6151	1,2753	248,4300	153,5900	41,1780	Transversal	L => P
	4A	1,4960	0,9540	1,8073	0,9961	0,6281	1,1906	205,3400	138,5700	47,1380	Transversal	P => L
	4B	1,7217	0,7773	2,0323	1,1555	0,5163	1,2751	48,0950	37,4350	34,5120	Transversal	L => P
PUC2	1	1,4250	0,9618	1,4980	1,0261	0,6732	1,1139	211,4000	141,7700	33,4580	Radial	P <=> L

P => L

Afastando do transmissor

L => P

Aproximando do transmissor

Tabela E.1 – Parâmetros de dispersão temporais obtidos com o emprego da técnica A

Rota	Grupo	Retardo (us)						Variação (%) em relação a			Sentido
		Médio – Técnica B			Médio - Técnica A			Técnica B			
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	
PUC1	1A	2,2651	0,4869	2,3451	1,5534	0,9111	1,7239	69%	187%	74%	P => L
	1B	2,3851	0,5185	2,4392	1,4511	1,0091	1,8474	61%	195%	76%	L => P
	2A	2,4142	0,3075	2,4291	1,9168	0,7022	2,0181	79%	228%	83%	P => L
	2B	2,4656	0,2226	2,4639	1,9805	0,5413	2,0600	80%	243%	84%	L => P
	3A	2,4618	0,2952	2,4846	0,1795	0,0564	0,1954	7%	19%	8%	P => L
	3B	2,3978	0,3688	2,4304	1,6735	0,9112	1,8039	70%	247%	74%	L => P
	4A	0,4731	0,1088	0,4957	1,4960	0,9540	1,8073	316%	877%	365%	P => L
	4B	2,4538	0,2531	2,4312	1,7217	0,7773	2,0323	70%	307%	84%	L => P
PUC2	1	0,2195	0,0693	0,0902	1,4250	0,9618	1,4980	649%	1388%	1661%	P <=> L
Rota	Grupo	Eficaz – Técnica B			Eficaz - Técnica A			Variação (%) em relação a			Sentido
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	
PUC1	1A	1,4946	0,2286	1,5293	1,1502	0,6334	1,3007	77%	277%	85%	P => L
	1B	1,5122	0,2099	1,5534	1,0281	0,7250	1,2288	68%	345%	79%	L => P
	2A	1,5402	0,1898	1,5632	1,3923	0,4701	1,4816	90%	248%	95%	P => L
	2B	1,5001	0,1475	1,5209	1,3560	0,3581	1,3085	90%	243%	86%	L => P
	3A	1,4981	0,1588	1,4981	0,1199	0,0381	0,1472	8%	24%	10%	P => L
	3B	1,5203	0,1680	1,5267	1,1894	0,6151	1,2753	78%	366%	84%	L => P
	4A	0,2802	0,0620	0,3038	0,9961	0,6281	1,1906	355%	1013%	392%	P => L
	4B	1,4221	0,1738	1,4292	1,1555	0,5163	1,2751	81%	297%	89%	L => P
PUC2	1	0,1338	0,0421	0,1710	1,0261	0,6732	1,1139	767%	1598%	652%	P <=> L

Tabela E.2 – Comparação dos parâmetros de dispersão temporais obtidos com as técnicas A e B

A Tabela E.3 mostra os resultados para os parâmetros de dispersão na frequência, de Doppler e tempo de coerência, empregando apenas a técnica A. Na Tabela E.4 encontram-se a banda e tempo de coerência pelas duas técnicas. Vale lembrar que a técnica A não apresenta como tratar a fase dos perfis quando faz a identificação dos multipercursos. Assim, resolveu-se não alterar as fases medidas, mantendo seus valores para calcular o Doppler.

Rota	Grupo	Deslocamento Doppler (Hz)						Tempo de Coerência - 90% (ms)			Dados da Rota	
		Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	1A	3,1717	3,5011	3,1717	9,5644	6,6661	6,8143	178,7200	145,3870	67,3430	Transversal	P => L
	1B	0,3171	0,0954	0,0802	0,3759	0,5013	0,2613	129,1000	122,9000	77,6060	Transversal	L => P
	2A	3,3800	2,1781	3,7555	3,8654	2,0266	2,8329	76,3350	112,6770	73,7910	Transversal	P => L
	2B	3,6680	3,3879	3,6691	4,6456	3,7920	3,1924	147,2500	253,7700	72,9050	Transversal	L => P
	3A	0,2754	0,1026	0,0454	0,3479	0,4771	0,2014	90,3080	116,1070	92,3660	Transversal	P => L
	3B	2,5783	2,4561	2,5109	5,6801	4,0444	3,9570	153,9600	296,2000	70,5520	Transversal	L => P
	4A	2,7316	3,4390	2,6304	4,7874	3,7246	3,3742	115,7200	147,1740	94,8590	Transversal	P => L
	4B	2,2773	3,9004	2,5334	3,7905	2,7682	2,7027	78,4000	128,0090	68,3520	Transversal	L => P
PUC2	1	2,7170	3,8327	1,7237	7,3767	4,0248	7,0131	198,5000	161,1130	69,3570	Radial	P <=> L

P => L

Afastando do transmissor

L => P

Aproximando do transmissor

Tabela E.3 – Parâmetros de dispersão na frequência obtidos com o emprego da técnica A

Rota	Grupo	Banda de Coerência – técnica B/Hamming (kHz)			Banda de Coerência – técnica A /Hamming (kHz)			Variação (%) em relação a técnica B		
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana
PUC1	1A	18,8950	15,2330	19,1090	558,2700	225,8300	67,9470	2855%	1383%	256%
	1B	17,3780	7,3472	186,2200	930,3500	291,5600	461,3900	5254%	3868%	148%
	2A	14,7550	7,3198	17,2190	89,9730	88,9000	59,5840	510%	1115%	246%
	2B	18,8700	5,4730	20,6540	74,0930	76,2020	15,6090	293%	1292%	-24%
	3A	8,0247	6,5327	4,6422	281,6300	164,7800	29,2590	3410%	2422%	530%
	3B	13,5160	7,6035	14,8000	248,4300	153,5900	41,1780	1738%	1920%	178%
	4A	32,2590	8,0117	28,6750	205,3400	138,5700	47,1380	537%	1630%	64%
	4B	90,6120	62,2370	56,2890	48,0950	37,4350	34,5120	-47%	-40%	-39%
PUC2	1	277,2200	45,3890	286,7500	211,4000	141,7700	33,4580	-24%	212%	-88%
Rota	Grupo	Tempo de Coerência – técnica B/Hamming (milissegundos)			Tempo de Coerência – técnica A/Hamming (milissegundos)			Variação (%) em relação a técnica B		
		Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana
PUC1	1A	89,9010	15,1670	84,8640	178,7200	145,3870	67,3430	99%	859%	-21%
	1B	69,3790	4,7437	68,5800	129,1000	122,9000	77,6060	86%	2491%	13%
	2A	70,4760	24,7940	70,2200	76,3350	112,6770	73,7910	8%	354%	5%
	2B	70,5830	3,5091	70,3970	147,2500	253,7700	72,9050	109%	7132%	4%
	3A	71,1620	2,3338	70,9440	90,3080	116,1070	92,3660	27%	4875%	30%
	3B	69,1740	2,2074	69,5140	153,9600	296,2000	70,5520	123%	13319%	1%
	4A	165,2200	33,2070	177,1200	115,7200	147,1740	94,8590	-30%	343%	-46%
	4B	7,1113	2,9036	7,0848	78,4000	128,0090	68,3520	1002%	4309%	865%
PUC2	1	5,3014	0,6965	2,9564	198,5000	161,1130	69,3570	3644%	23033%	2246%

Tabela E.4 – Comparação dos parâmetros de dispersão na frequência obtidos com as técnicas A e B

Comparando os resultados das Tabelas 4.1, 4.2, E.1 e E.3, conclui-se que as técnicas de limpeza A e B tendem a afetar consideravelmente o resultado da banda de coerência e do tempo de coerência, conforme pode ser visto na Tabela E.4. Ressalta-se que o resultado apresentado usando a técnica B (WDen), para os parâmetros na frequência, na rota PUC2, aproximou-se do resultado encontrado por Matos [1]. Vale lembrar, contudo, que a antena transmissora estava em outro local, no topo do prédio Kennedy e que a rota lá tomada não considerava a parte sobre o rio, que este trabalho considerou. Em [1], o espalhamento Doppler e o tempo de coerência foram, respectivamente, 5,38 Hz e 8 ms, enquanto aqui, 7,37 Hz e 5,3 ms.

Usando a técnica A para o tratamento dos perfis, utilizando como referência o retardo de 2,5 microssegundos, pode se observar a diferença do perfil de Doppler da Figura E.10 em relação à Figura 4.16. Essa diferença pode ser facilmente verificada na Tabela E.2, observando os valores médios para o retardo médio das duas técnicas utilizadas, nota-se que a técnica A tende a apresentar um retardo médio e eficaz com valor menor do que o apresentado quando da utilização da B.

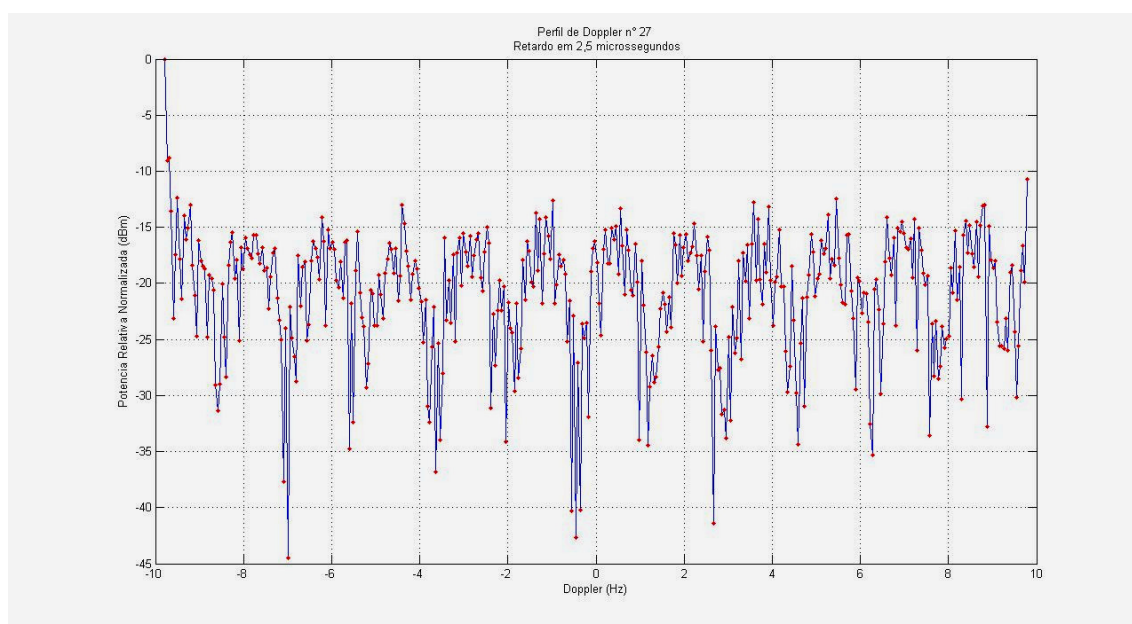


Fig E.10 – Perfil de Doppler, na rota PUC1-1A para retardo em 2,5 microssegundos, usando a técnica A

Considerando que o valor médio do retardo médio para a técnica A aproxima-se de 1,5 microssegundos, valor esse que se aproxima do valor médio do retardo eficaz para a limpeza

com o emprego da B, os perfis de Doppler para retardo da ordem de 1,5 microssegundos foram plotados com a técnica A, na Figura E.11, e com técnica B, na Figura E.12.

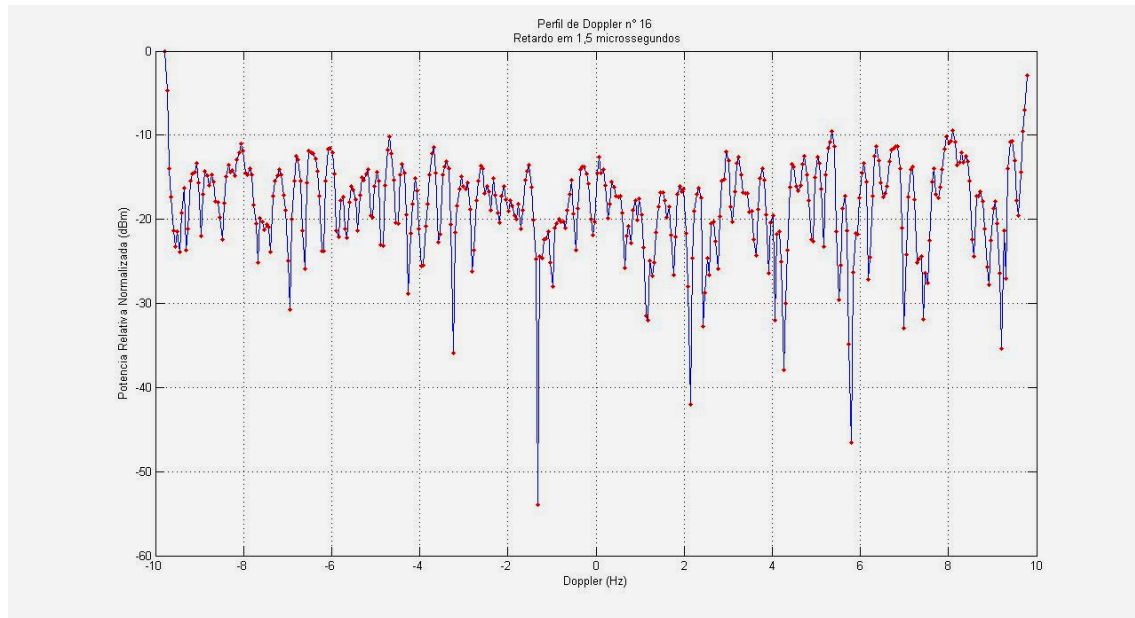


Fig E.11 – Perfil de Doppler, na rota PUC1-1A, para retardo em 1,5 microssegundos, usando a técnica B

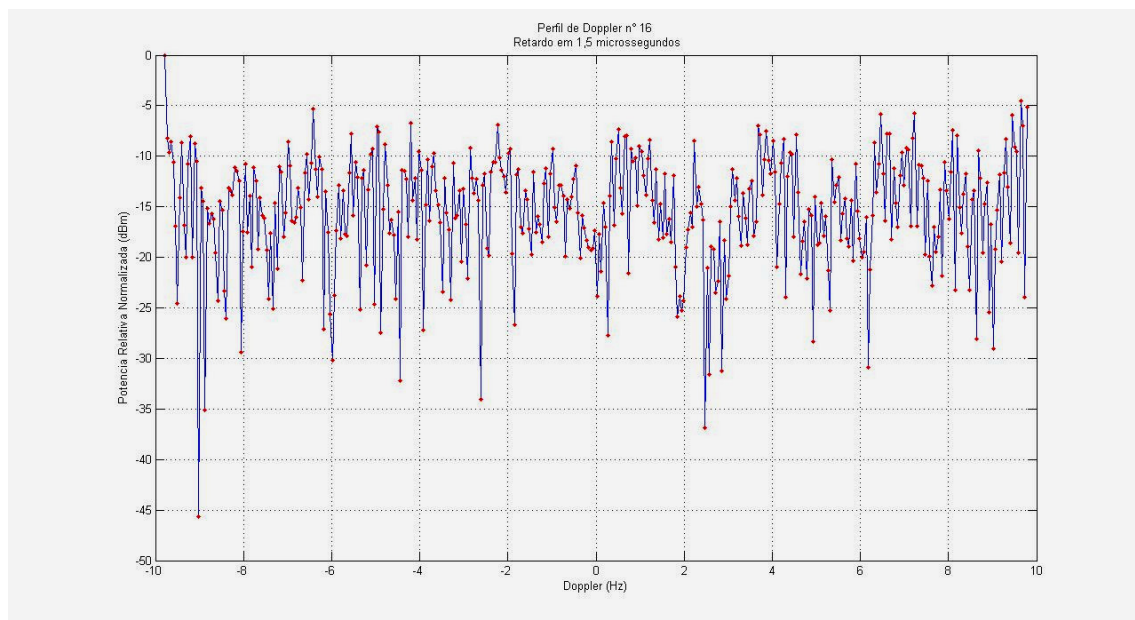


Fig E.12 – Perfil de Doppler, na rota PUC1-1A, para retardo em 1,5 microssegundos, usando a técnica A

Observa-se que na Figura E.12 os picos de Doppler estão mais fortes que na Figura E.11, próximos de 3 dB, mostrando que este perfil tratado pela técnica A, tende a ser um perfil mais “sujo” quando comparado a um perfil tratado pela técnica B, significando que mais multipercursos foram identificados.

Verificou-se que devido às diferenças de resultado após a aplicação das duas técnicas de limpeza nos perfis de P_h , usando o mesmo filtro de janela (Hamming) e para o mesmo tempo de chegada do retardo, era de se esperar um gráfico de Doppler diferente. Isso pode ser visto analisando as Figuras E.13, E.14, E.15 e E.16.

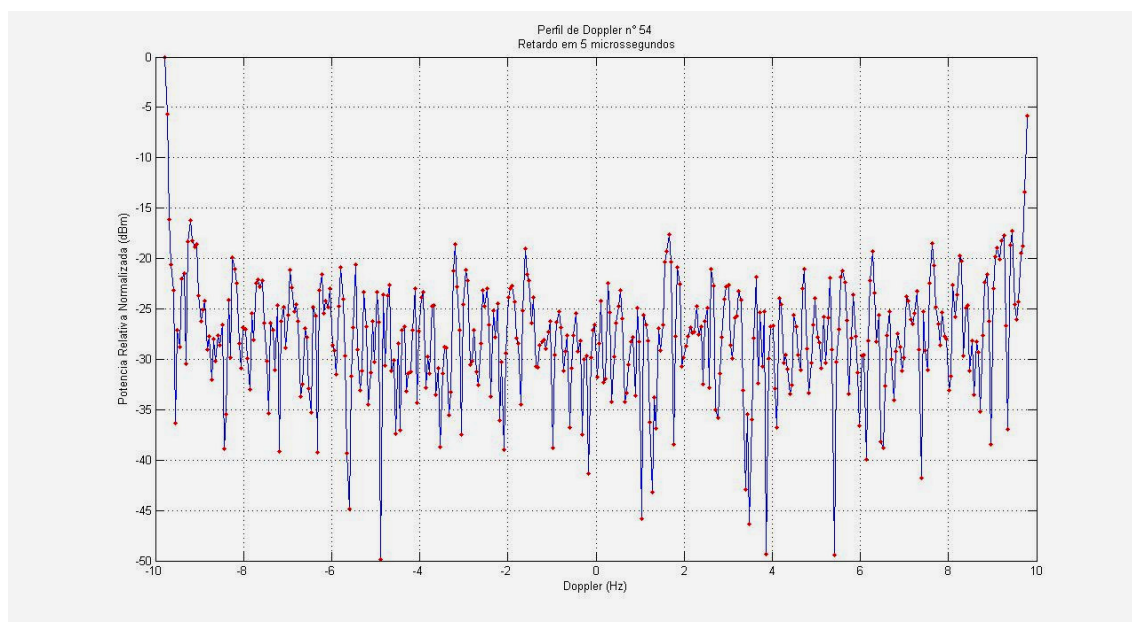


Fig E.13 – Perfil de Doppler, na rota PUC1-1A, para retardo em 5 microssegundos, usando a técnica B

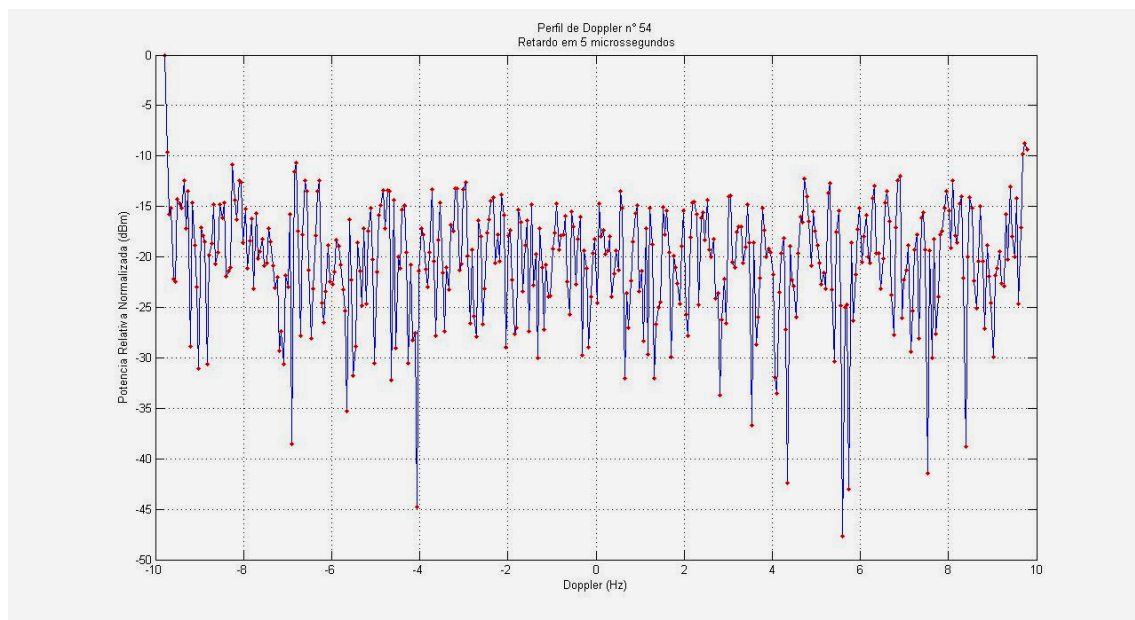


Fig E.14 – Perfil de Doppler, na rota PUC1-1A, para retardo em 5 microssegundos, usando a técnica A

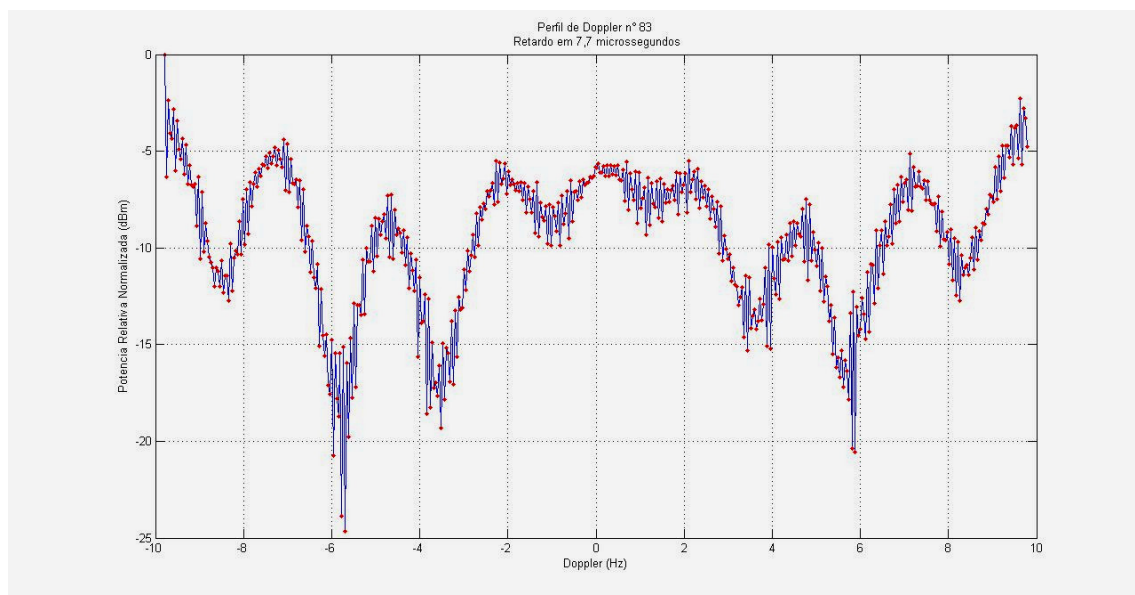


Fig E.15 – Perfil de Doppler, na rota PUC2, para retardo em 7,7 microssegundos, usando a técnica B

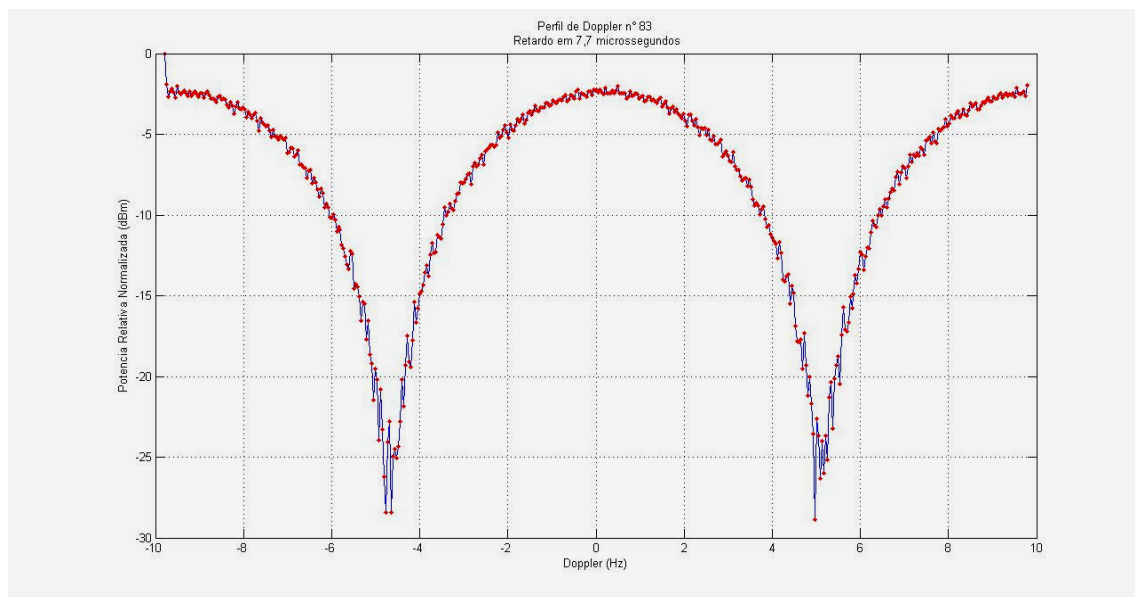


Fig E.16 – Perfil de Doppler, na rota PUC2, para retardo em 7,7 microssegundos, usando a técnica A

Utilização de diferentes filtros de janela

Com os diferentes filtros de janelas disponíveis para suavizar o alargamento da transformada, verificou-se uma necessidade de se obter valores comparativos entre eles. Desta forma, foram tomados os perfis da rota PUC1 e processados, empregando as duas técnicas de limpeza e os filtros Kaiser-Bessel para beta 7, 9 e 11, Blackman-Harris e Hanning.

O resultado de alguns parâmetros encontram-se na Tabela E.5, quando empregada a técnica B de limpeza e na Tabela E.6, quando empregada a técnica A.

Tipo de Janela	Rota	Sentido	Banda de Coerência (kHz)			Deslocamento Doppler						Tempo de Coerência (ms) - 90%		
						Médio			Eficaz					
			Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana
Hamming	PUC1	1A	18,8950	15,2330	19,1090	0,2622	0,0916	0,2870	0,3360	0,5283	0,1691	89,9010	15,1670	84,8640
		1B	17,3780	7,3472	186,2200	2,9588	3,3930	2,9588	5,3352	2,5355	4,4509	69,3790	4,7437	68,5800
Kaiser Bessel com beta = 11	PUC1	1A	20,6640	14,6400	20,0328	0,0573	0,0257	0,0147	0,2170	0,2937	0,1213	106,7000	10,4660	107,0700
		1B	19,5830	6,2343	20,1500	4,4774	3,1309	3,9583	5,1746	4,3318	3,3464	87,3050	11,4120	84,9200
Kaiser Bessel com beta = 9	PUC1	1A	20,0225	14,8000	20,0660	0,0741	0,0304	0,0176	0,2340	0,3193	0,1307	102,2100	11,8710	103,1700
		1B	19,0050	6,5348	19,9020	4,6833	3,5272	4,3463	6,2203	5,4130	3,8924	81,1960	9,6521	18,8190
Kaiser Bessel com beta = 7	PUC1	1A	19,6480	15,0000	19,7240	0,1083	0,4061	0,0214	0,2615	0,3659	0,1461	96,4960	13,5930	96,2650
		1B	18,2500	6,9906	19,4420	4,1998	3,4878	4,1401	5,8426	3,9458	4,4661	74,9130	7,1642	73,3580

Blackman-Harris	PUC1	1A	20,8370	14,5770	20,4380	0,0590	0,0242	0,0138	0,2108	0,2847	0,1750	108,4400	9,9857	107,9000
		1B	19,8220	6,1132	20,3280	3,5310	1,9881	3,4868	5,0345	4,3492	3,0398	89,9000	11,9170	88,6960
Hann	PUC1	1A	19,2880	15,1140	19,5040	0,1514	0,3546	0,0244	0,2879	0,4182	0,1570	92,1330	14,5480	88,7200
		1B	17,8290	7,1735	19,0090	5,0050	4,5105	4,7031	7,7366	6,4776	5,3146	71,3640	5,6508	70,1140

Tabela E.5 – Parâmetros obtidos com diferentes janelas e técnica B de limpeza de ruído

Tipo de Janela	Rota	Sentido	Banda de Coerência (kHz)			Deslocamento Doppler						Tempo de Coerência (ms) - 90%		
						Médio			Eficaz					
			Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana
Hamming	PUC1	1A	558,2700	225,8300	67,9470	3,1717	3,5011	3,1717	9,5644	6,6661	6,8143	178,7200	145,3870	67,3430
		1B	930,3500	291,5600	461,3900	0,3171	0,0954	0,0802	0,3759	0,5013	0,2613	129,1000	122,9000	77,6060
Kaiser Bessel com $\beta = 11$	PUC1	1A	634,7800	239,7100	131,7100	0,2016	0,0883	0,1160	0,2577	0,0563	0,1069	195,1300	141,6300	86,0410
		1B	1085,7000	312,1800	659,5300	0,1753	0,5319	0,4264	0,2684	0,0358	0,1915	144,0900	88,3490	103,0700
Kaiser Bessel com $\beta = 9$	PUC1	1A	634,0100	239,7300	114,3700	0,1938	0,0801	0,1481	0,3167	0,0759	0,1213	195,8600	144,8030	80,4200
		1B	1085,3000	312,2000	605,2600	0,2126	0,0678	0,4991	0,2945	0,0402	0,2170	141,1600	97,7130	92,5110
Kaiser Bessel com $\beta = 7$	PUC1	1A	608,5600	235,2200	90,5600	4,3559	0,3145	4,3195	6,0853	0,3150	5,0541	195,5000	147,9540	72,1820
		1B	1084,7000	312,2200	541,5800	0,2131	0,0794	0,0621	0,3254	0,0443	0,2447	130,3500	110,2750	84,6290

Blackman-Harris	PUC1	1A	635,1000	239,7000	137,5500	0,1793	0,0729	0,1049	0,2394	0,0506	0,1029	198,3300	139,9860	89,4590
		1B	1085,9000	312,1800	683,5600	0,1604	0,0447	0,4185	0,2578	0,0339	0,1836	145,1500	84,2570	104,5700
Hann	PUC1	1A	558,9500	225,8100	71,5470	5,8967	0,3940	6,7281	6,8575	0,3942	5,8879	185,9400	146,2650	69,0630
		1B	1084,5000	312,2300	5,0904	0,2745	0,0851	0,0730	0,3418	0,0464	0,2525	126,3800	107,5300	80,3000

Tabela E.6 – Parâmetros obtidos com diferentes janelas e técnica A de limpeza de ruído

Os gráficos de Doppler obtidos com o emprego dos filtros de Kaiser, BlackmanHarris e Hanning, antes das transformadas, para um retardo de 1,5 microssegundos (valor aproximado para o retardo eficaz empregando a técnica B e retardo médio empregando a técnica A), são mostrados nas Figuras de E.17 a E.26.

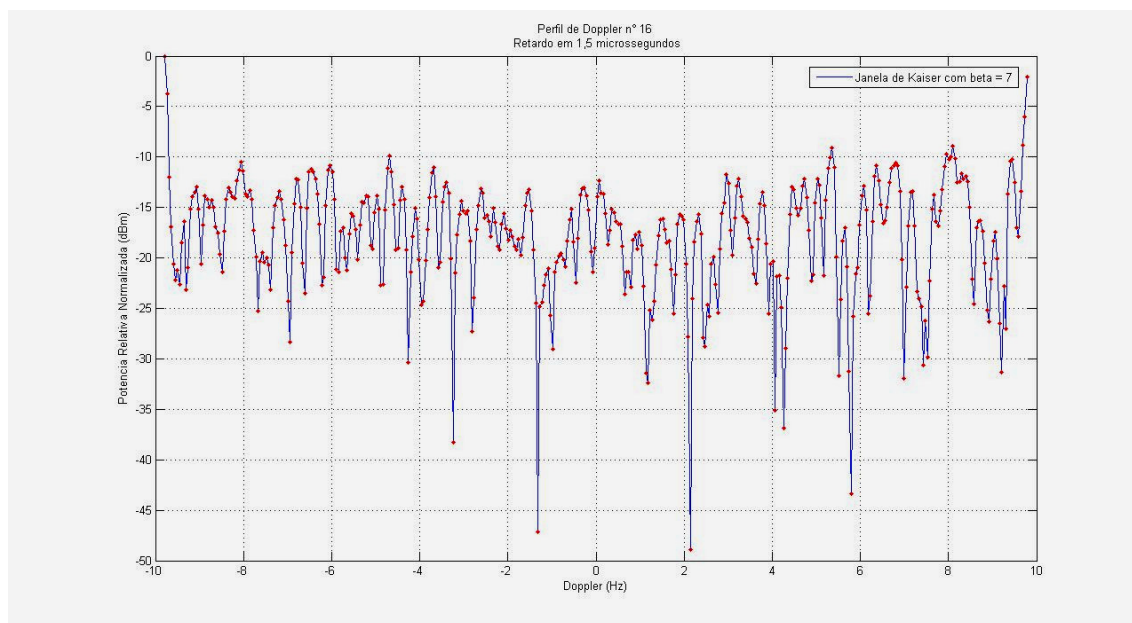


Fig E.17 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de Kaiser-Bessel para $\beta = 7$ (técnica B)

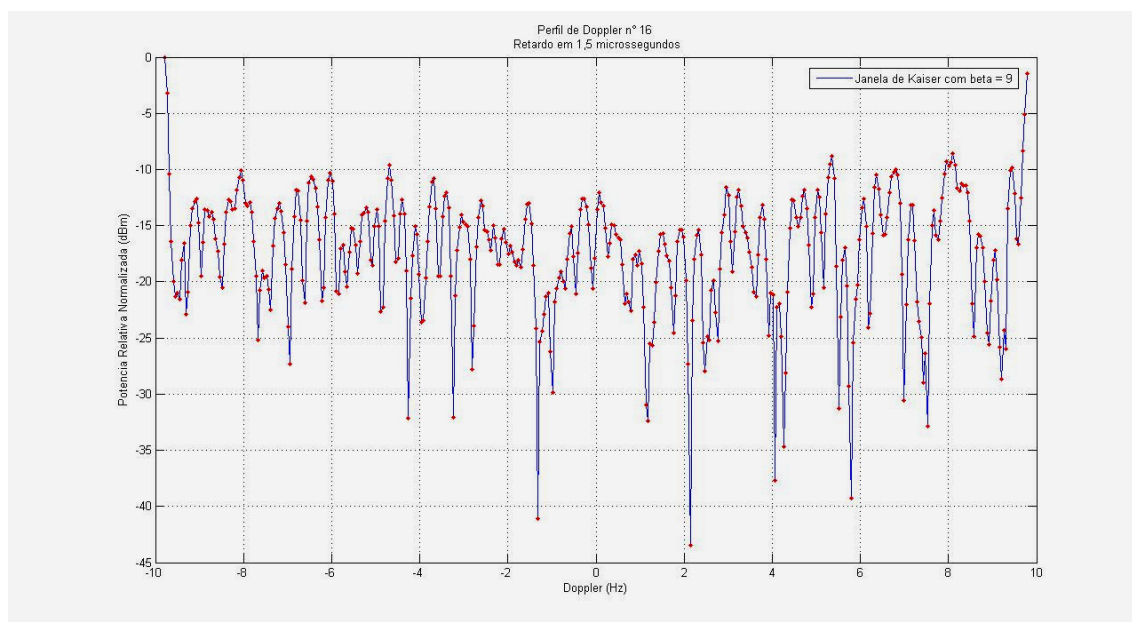


Fig E.18 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de Kaiser-Bessel para $\beta = 9$ (técnica B)

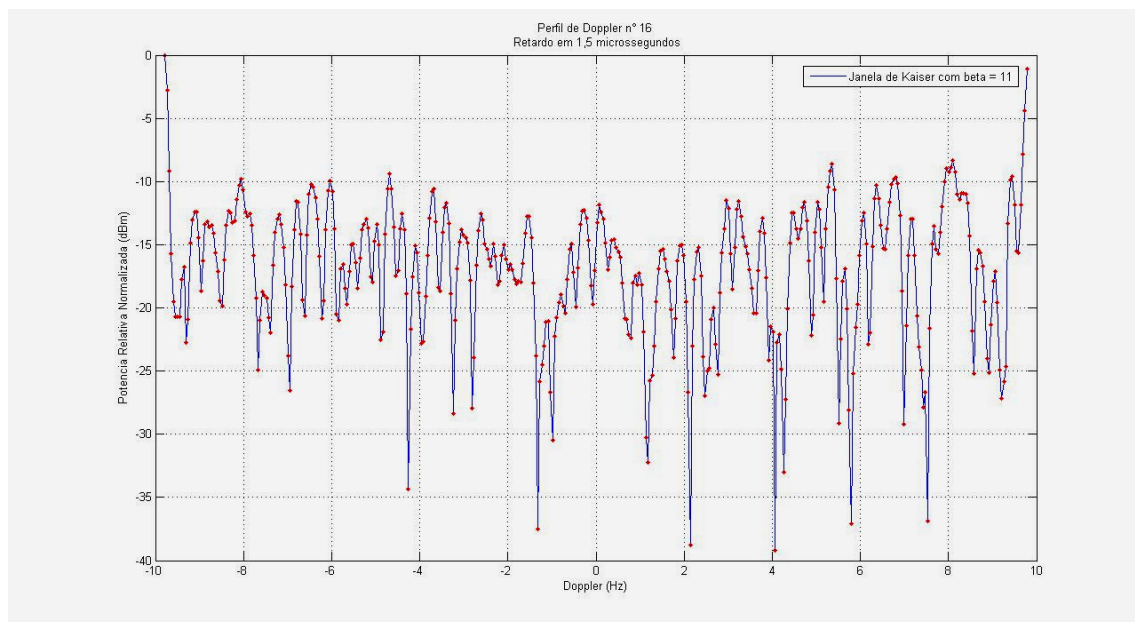


Fig E.19 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de Kaiser-Bessel para beta = 11 (técnica B)

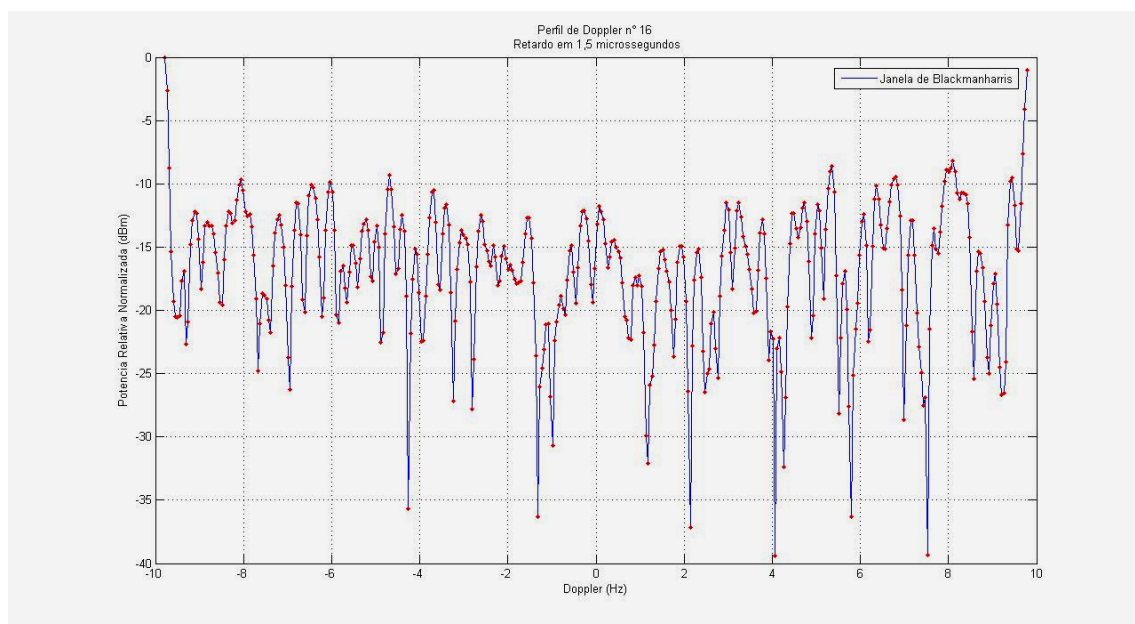


Fig E.20 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de BlackmanHarris (técnica B)

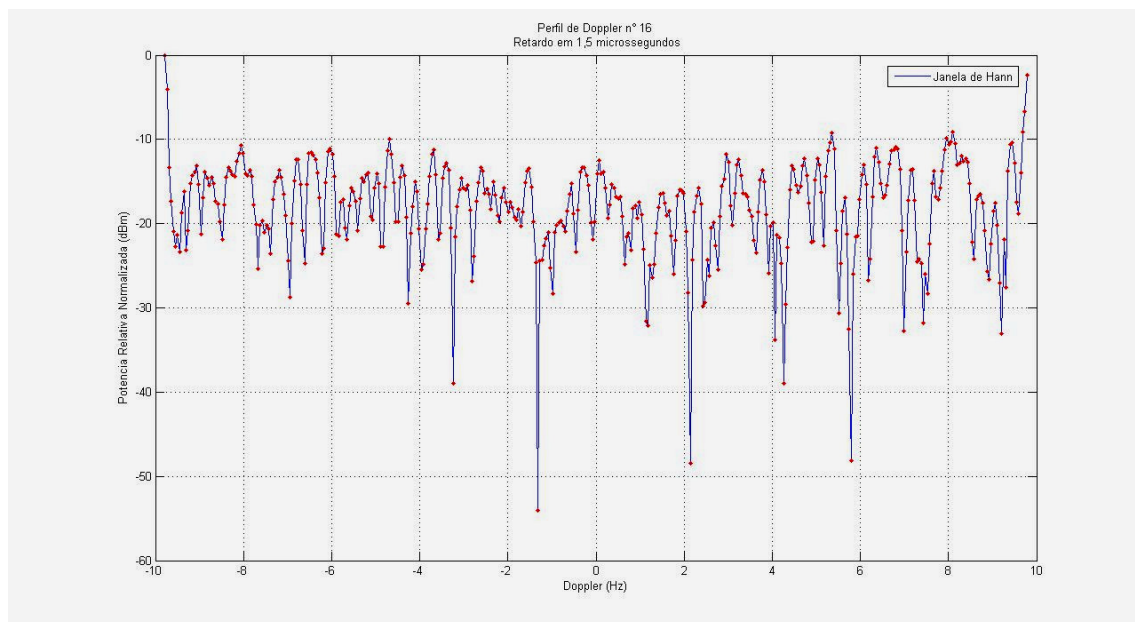


Fig E.21 – Perfil de Doppler usando filtro de janela Hanning (técnica B)

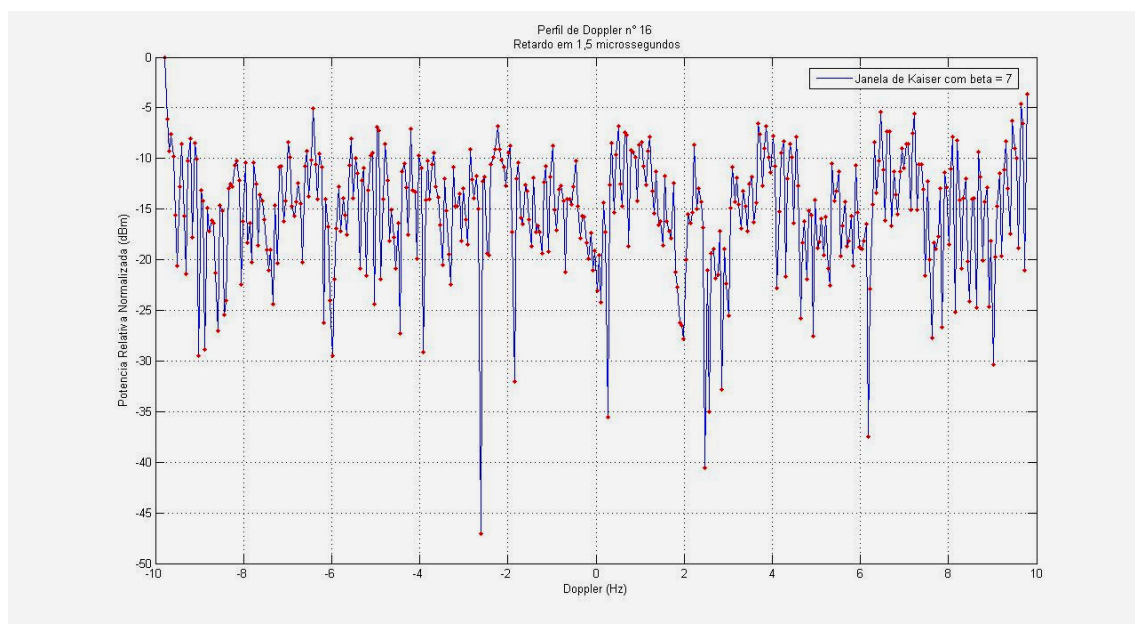


Fig E.22 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de Kaiser-Bessel para beta = 7 (técnica A)

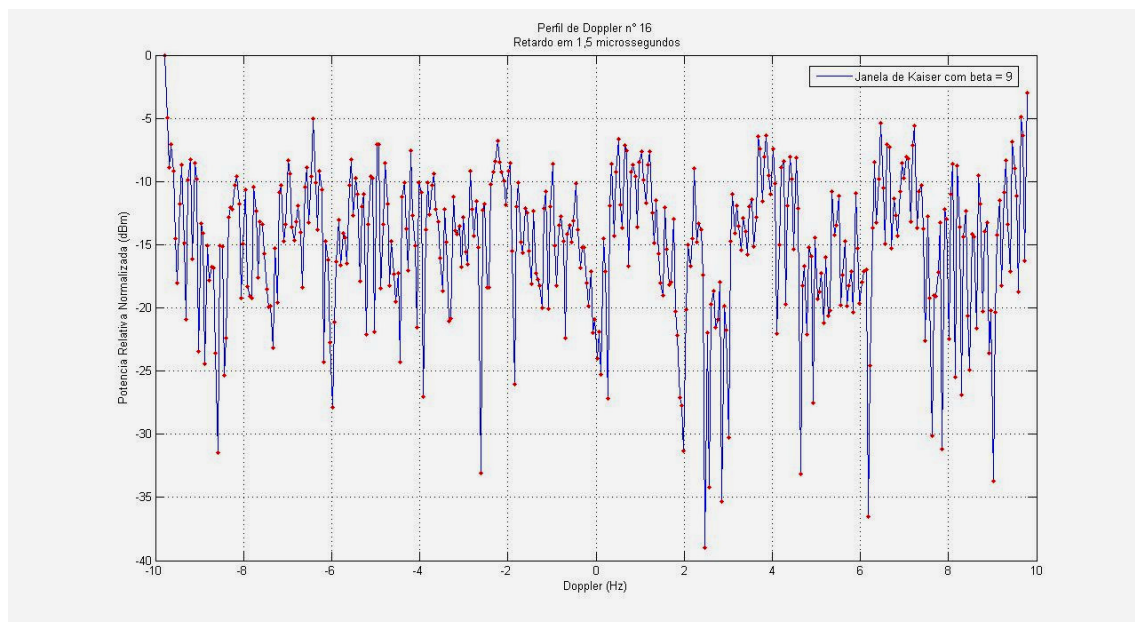


Fig E.23 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de Kaiser-Bessel para beta = 9 (técnica A)

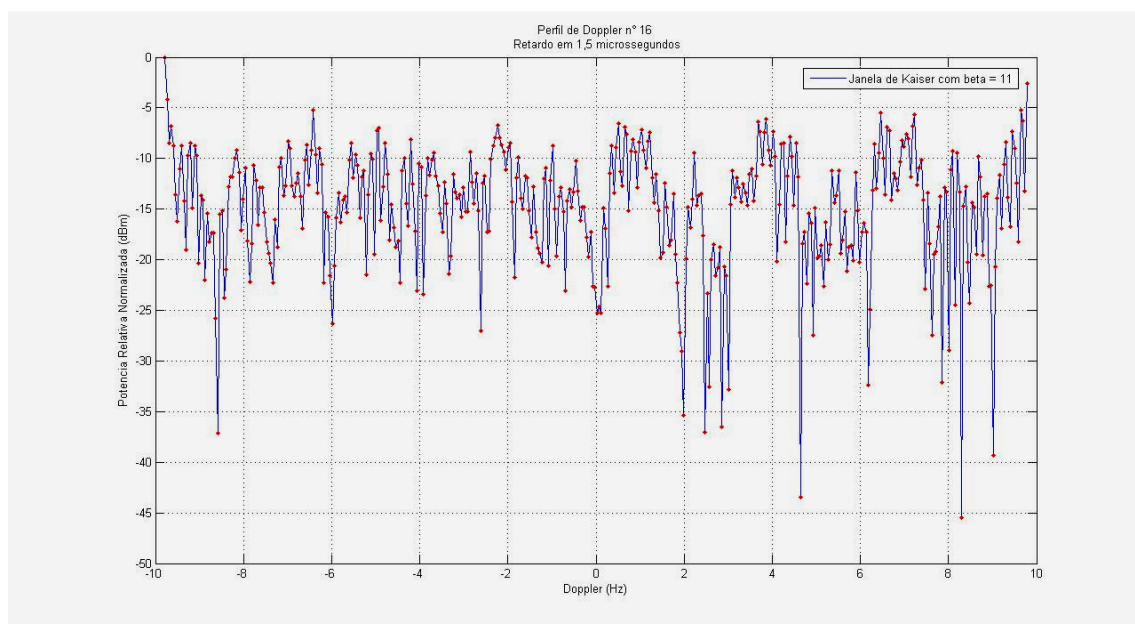


Fig E.24 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de Kaiser-Bessel para beta = 11 (técnica A)

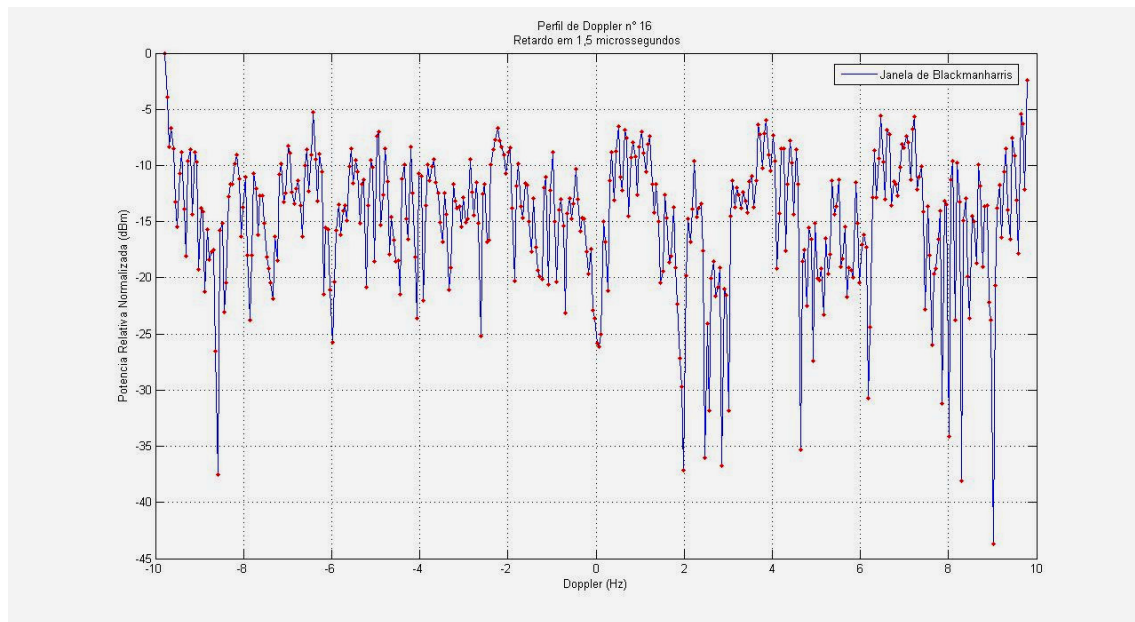


Fig E.25 – Perfil de Doppler usando filtro de janela de BlackmanHarris (técnica A)

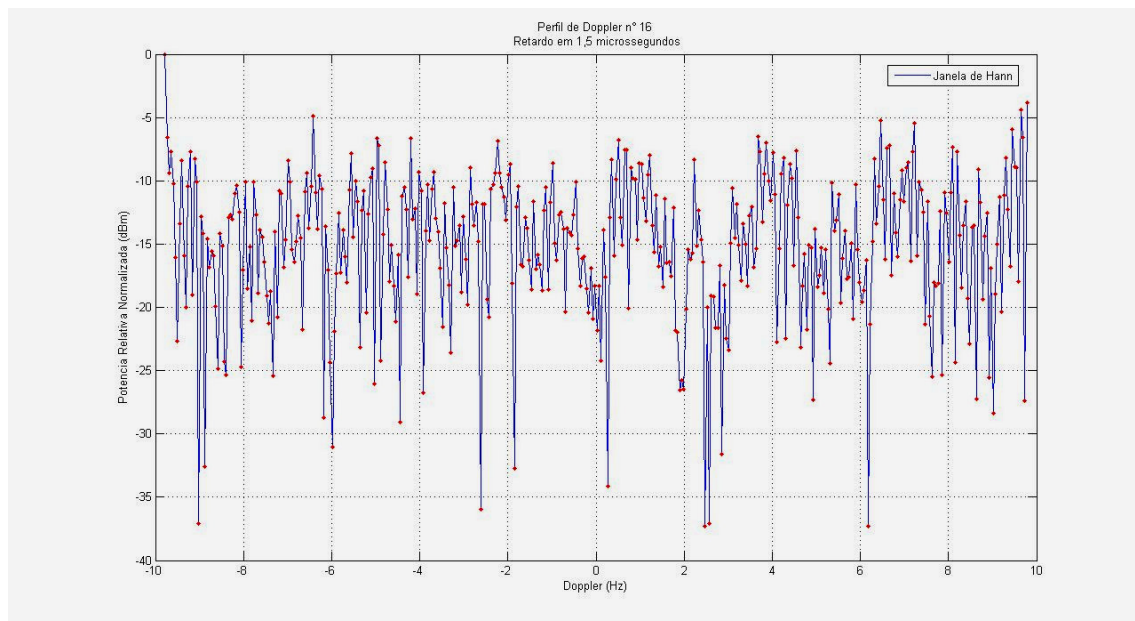


Fig E.26 – Perfil de Doppler usando filtro de janela Hanning (técnica A)

Observando as Figuras E.17 a E.21 e E.22 a E.26, verifica-se que os perfis de Doppler para as diferentes janelas são semelhantes, alterando os valores mínimos dentro de cada perfil, em função da janela utilizada.

Divisão das rotas em subrotas

Durante o processamento e análise dos perfis adquiridos, verificou-se a possibilidade de que variações bruscas na rota pudessem afetar a estacionariedade do canal. Como a base para todos os cálculos realizados são os perfis de retardo de potência, P_h , foram utilizados os valores da média do retardo médio e seu desvio padrão como referência para uma possível quebra de uma rota em várias subrotas, de forma que alterações bruscas nesses valores pudessem identificar mudanças bruscas nas características do meio. Observa-se, como exemplo, que a presença de um raio de visada direta em um determinado perfil, sendo grande a diferença de amplitude deste para os multipercursos presentes, como pode ser visto na Figura E.1, tende a diminuir o valor do retardo médio, pois as demais contribuições serão mitigadas. O que foi exposto pode ser verificado através da equação (2.62).

Desta forma, através da análise dos dados disponíveis procedeu-se com a quebra de determinadas rotas em subrotas (ou subgrupos de perfis) para processamento. Os resultados para retardo médio e eficaz, tanto usando as técnicas B quanto A, podem ser vistos nas Tabelas E.7, E.8, E.9 e E.10, tendo sido mostrados apenas as rotas onde foi percebida a não estacionariedade.

Rota	Grupo	Sub-rota	Retardo (microsegundos)						Banda de Coerência – 90 % (kHz)			Dados da Rota	
			Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
			Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	2A	1	2,4281	0,3273	2,4690	1,5066	0,1842	1,5550	16,9505	6,7756	18,8326	Transversal	P => L
		2	2,3324	0,2630	2,3161	1,6028	0,1692	1,6146	12,9527	7,5433	12,3669		
	2B	1	2,3921	0,2406	2,4285	1,4448	0,1589	1,4502	20,0837	4,2400	21,1949	Transversal	L => P
		2	2,4445	0,1991	2,4420	1,4985	0,1232	1,5222	19,9347	4,7228	21,0685		
	3A	1	2,4139	0,3123	2,4894	1,5122	0,1323	1,5046	6,1087	5,4576	3,8700	Transversal	P => L
		2	2,5292	0,2685	2,5495	1,5116	0,1453	1,5447	6,3075	5,0944	4,2487		
	3B	1	2,3875	0,3344	2,4309	1,4722	0,1437	1,4875	16,2093	6,3332	18,0918	Transversal	L => P
		2	2,3950	0,4401	2,4364	1,5133	0,1816	1,5464	13,1252	8,3746	12,1399		

Tabela E.7 – Subrotas e parâmetros temporais obtidos com o emprego da técnica B

Rota	Grupo	Sub-rota	Deslocamento Doppler (Hz)						Tempo de Coerência - 90% (ms)			Dados da Rota	
			Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
			Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	2A	1	2,9885	4,2759	2,9885	5,0408	2,1137	4,4297	70,6816	6,8202	68,5596	Transversal	P => L
		2	2,8538	1,1956	2,6819	1,7376	0,6811	1,6109	71,7513	4,7568	71,0642		
	2B	1	4,0892	3,3269	4,1983	4,7507	2,2609	4,0329	80,1954	39,1452	72,1282	Transversal	L => P
		2	2,3066	1,6415	2,0201	1,4345	0,6315	1,3489	72,2646	7,1332	71,0903		
	3A	1	3,9265	3,8590	3,9642	4,5786	2,1978	3,9028	75,0352	6,8347	74,8535	Transversal	P => L
		2	4,0225	2,0745	4,0225	5,4513	3,9053	5,1034	71,9388	5,3318	71,3998		
	3B	1	5,2907	3,5318	5,4471	5,9538	4,8018	3,8937	77,8169	12,9383	73,7964	Transversal	L => P
		2	2,3170	1,6379	1,9486	1,3735	0,4196	1,3234	73,6701	8,0569	72,7661		

Tabela E.8 – Subrotas e parâmetros na frequência obtidos com o emprego da técnica B

Rota	Grupo	Sub-rota	Retardo (microsegundos)						Banda de Coerencia - 90% (kHz)			Dados da Rota	
			Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
			Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	1A	1	1,8215	0,7416	1,9489	1,3732	0,4970	1,4788	14,6918	3,4098	6,7143	Transversal	P => L
		2	1,3137	0,9973	1,3965	0,9355	0,6762	1,1114	106,6097	30,5714	71,6127		
	2A	1	1,8395	0,7377	2,0115	1,2475	0,5032	1,3456	23,1776	14,8964	6,3302	Transversal	P => L
		2	2,0350	0,6247	2,0428	1,5340	0,3401	1,5985	9,2387	6,8044	4,9730		
	2B	1	2,0780	0,3812	2,1095	1,2805	0,1894	1,2855	15,6687	7,3793	18,3101	Transversal	L => P
		2	1,8916	0,6434	1,9953	1,4248	0,4513	1,4925	127,3246	105,3383	115,6363		
PUC2	1	1	1,5873	0,8163	1,7596	1,2887	0,6058	1,4849	7,7059	5,8261	4,7612	Radial	P <=> L
		2	1,6564	0,8847	1,7053	1,1460	0,5841	1,1910	7,9686	2,4529	3,4243		
		3	1,3550	0,9874	1,4540	0,9647	0,6883	1,0215	28,1492	16,3847	3,2516		

Tabela E.9 – Subrotas e parâmetros temporais obtidos com o emprego da técnica A

Rota	Grupo	Sub-rota	Deslocamento Doppler (Hz)						Tempo de Coerencia - 90% (ms)			Dados da Rota	
			Médio			Eficaz			Médio			Tipo	Sentido
			Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana	Média	Desvio	Mediana		
PUC1	1A	1	3,9475	2,5889	4,1194	4,8516	4,1037	3,0763	119,4383	168,8105	76,9892	Transversal	P => L
		2	1,8017	1,8214	1,0629	1,2616	0,8806	1,0125	158,1622	249,0501	80,9382		
	2A	1	3,3494	0,8664	0,0213	0,3478	0,5233	0,1139	9,4024	5,8127	7,9053	Transversal	P => L
		2	2,5719	2,1771	2,0162	1,5852	1,1306	1,4518	93,1144	94,3211	71,6362		
	2B	1	1,6030	2,5048	1,3714	4,1120	3,0770	3,0280	112,6635	128,9656	74,6737	Transversal	L => P
		2	1,6825	2,2527	0,3549	1,1513	1,1127	0,9707	88,3263	79,6736	73,6300		
PUC2	1	1	1,8586	6,9187	4,8318	6,1883	3,6645	5,4723	103,7552	78,5459	72,6796	Radial	P <=> L
		2	1,7948	1,8427	1,2705	1,2120	0,8345	1,1101	104,5774	98,4115	75,2174		
		3	0,7447	1,6992	0,1968	0,6544	0,8645	0,3710	127,6253	133,2684	74,9803		

Tabela E.10 – Subrotas e parâmetros na frequência obtidos com o emprego da técnica A

Fazendo um comparativo das Tabelas E.7, E.8, E.9 e E.10 com as Tabelas 4.1, 4.2, E.1 e E.3, verifica-se que a divisão em subrotas não variou muito os parâmetros, assim não havendo a necessidade de tal divisão.