

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

VITOR SIQUEIRA PACHECO

**EMPREGO DA FILTRAGEM DE MÉDIA MÓVEL NA
ANÁLISE ESTATÍSTICA DO SINAL RÁDIO MÓVEL, NA
FAIXA DE 430 MHZ, EM AMBIENTE INTERNO**

NITERÓI
2012

VITOR SIQUEIRA PACHECO

**EMPREGO DA FILTRAGEM DE MÉDIA MÓVEL NA
ANÁLISE ESTATÍSTICA DO SINAL RÁDIO MÓVEL, NA
FAIXA DE 430 MHZ, EM AMBIENTE INTERNO**

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

Orientadora: Prof^ª. Dra. Leni Joaquim de Matos
Coorientador: Prof. Dr. Edson Luiz Cataldo Ferreira

NITERÓI
2012

VITOR SIQUEIRA PACHECO

**EMPREGO DA FILTRAGEM DE MÉDIA MÓVEL NA
ANÁLISE ESTATÍSTICA DO SINAL RÁDIO MÓVEL, NA
FAIXA DE 430 MHZ, EM AMBIENTE INTERNO**

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

Aprovada em ____ de _____ de 2012

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a. Dr.^a. Leni Joaquim de Matos – Orientadora
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Edson Luiz Cataldo Ferreira – Coorientador
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Tadeu Nagashima Ferreira
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Luis Alberto Rabanal Ramirez
Faculdade Gama e Souza – FGS

Niterói
2012

Esta dissertação de mestrado é dedicada ao meu pai, Ulysses Pacheco Netto (*in memoriam*), que sempre me espelhei, que me deu muito apoio em todos os momentos da minha vida, nunca mediu esforços para me ajudar e foi fundamental para me tornar a pessoa que sou hoje.

Agradecimentos

À Deus, que permitiu que tudo fosse possível, me concedendo saúde, paz, felicidade e muita força nos momentos difíceis.

À Prof^a Dra. Leni Joaquim de Matos, pela sua dedicação e disponibilidade na orientação, por seus conhecimentos passados, pelas críticas e sugestões que contribuíram muito para este trabalho.

Ao Prof^o Edson Luiz Cataldo Ferreira, pela coorientação, que muito colaborou para o desenvolvimento desta dissertação.

À Universidade Federal Fluminense, pelos equipamentos, infraestrutura e auxílios concedidos.

À PUC-RIO pela disponibilização de equipamentos e dispositivos para a realização das medições.

A todos os professores da pós-graduação, que durante o curso puderam me passar ensinamentos fundamentais para a confecção deste trabalho.

Ao meu amigo Thiago Muniz de Souza, que colaborou nas medições e pode ajudar de forma significativa na elaboração dos programas em MATLAB.

E sempre à minha querida família, que nunca me deixa desistir de meus objetivos, estando o tempo todo ao meu lado e sempre me incentivando a alcançar meus desejos.

Resumo

Atualmente, há uma crescente demanda por sistemas de comunicação *wireless*, principalmente, em edifícios, escritórios e residências. Isso faz com que haja um congestionamento nas faixas de frequência de operação desses sistemas, ocasionando uma busca pela operação, das tecnologias *wireless*, em novas faixas de frequência.

Esta dissertação tem como objetivo caracterizar o canal rádio móvel na frequência de 430 MHz em ambiente *indoor*, através da análise do desvanecimento rápido e lento, cujos dados, foram obtidos a partir de medidas realizadas na Escola de Engenharia, na Universidade Federal Fluminense. Busca-se, também neste trabalho, obter os três principais efeitos de propagação do sinal rádio móvel, a partir do sinal medido, através de duas formas distintas: pela setorização e pela filtragem de média móvel, e verificar a correlação entre elas. Primeiramente, é apresentada uma explanação teórica sobre o assunto, posteriormente é descrito o ambiente de medição, bem como, os equipamentos envolvidos. Por fim, é apresentado os resultados e realizada sua análise para a elaboração das conclusões.

Palavras-chave: Canal rádio móvel, desvanecimento em pequena escala, desvanecimento em grande escala, perda no percurso, variabilidade do sinal, setorização, filtro de média móvel.

Abstract

Currently, there is a growing demand for wireless communication systems, especially in buildings, offices and homes. It causes congestion in frequency bands of systems operation, causing search for new frequency bands to operate in wireless technologies.

This dissertation aims to characterize the channel mobile radio on 430 MHz indoor in indoor environment, through the analysis of slow and fast fading, whose data were obtained from measurements taken in the Escola de Engenharia, at Universidade Federal Fluminense. Another objective of this paper is to obtain the three main effects of mobile radio signal propagation from the measured signal through two distinct ways: sectorization and moving average filter, and the correlation between them. First, a theoretical explanation is presented on the subject, then, we describe the measurement environment and the equipment involved. Finally, we show and analysis the results present the conclusions.

Keywords: Mobile radio channel, small-scale fading, large-scale fading, path loss, signal variability, sectorization, moving average filter.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1. INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 2	14
2. PROPAGAÇÃO NO CANAL RÁDIO MÓVEL	14
2.1 MECANISMOS DE PROPAGAÇÃO	14
2.2 EFEITOS DE PROPAGAÇÃO	15
2.3 TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DOS EFEITOS DE PROPAGAÇÃO	17
2.3.1 Setorização	18
2.3.2 Filtro de Média Móvel (FMM).....	18
CAPÍTULO 3	20
3. DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS DA VARIABILIDADE DO SINAL RADIOMÓVEL	20
3.1 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS	20
3.1.1 Distribuição Rayleigh.....	20
3.1.2 Distribuição Rice.....	23
3.1.3 Distribuição Weibull	25
3.1.4 Distribuição Nakagami.....	25
3.1.5 Distribuição Gaussiana.....	27
CAPÍTULO 4	28
4. SETUP E AMBIENTES DE MEDIÇÕES	28
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	28
4.1.1 Escolha da Frequência.....	28
4.1.2 Configurações Básicas do Analisador de Espectro HP 8594E para a Frequência de 430 MHz: Curva de Ajuste.....	31
4.1.3 Taxa de Amostragem	34
4.2 <i>SETUP</i> DE MEDIÇÃO.....	35
4.2.1. Diagrama Unifilar	35
4.2.2 Antena Transmissora.....	36
4.2.3 Antena Receptora	39
4.2.4 Perfis de Medição.....	40
CAPÍTULO 5	43

5. RESULTADOS E ANÁLISE DAS MEDIÇÕES OBTIDAS.....	43
5.1 SETORIZAÇÃO.....	43
5.1.1 Perfil 1.....	44
5.1.2 Perfil 2.....	47
5.1.3 Perfil 3.....	50
5.1.4 Perfil 4.....	53
5.2 FILTRO DE MÉDIA MÓVEL (FMM).....	56
5.2.1 Perfil 1.....	56
5.2.2 Perfil 2.....	58
5.2.3 Perfil 3.....	60
5.2.4 Perfil 4.....	62
5.3 ESTATÍSTICA DO DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA.....	64
5.3.1 Perfil 1.....	65
5.3.2 Perfil 2.....	76
5.3.3 Perfil 3.....	82
5.3.4 Perfil 4.....	94
5.4 DESVANECIMENTO EM LARGA ESCALA.....	104
5.5 ANÁLISE POR PERFIL.....	107
CAPÍTULO 6.....	110
6. CONCLUSÃO.....	110
REFERÊNCIAS.....	112
ANEXO A.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismos de propagação.	15
Figura 2: Efeitos de propagação no canal radiomóvel sobre o sinal.	15
Figura 3: Sinal recebido através de multipercursos.	17
Figura 4: Diagrama mostrando a obtenção dos sinais R, S e P. (Fonte: artigo Semenge)	19
Figura 5: Gráfico da Distribuição Rayleigh.	23
Figura 6: Comparação entre as FDP: (a) $K \rightarrow 0$, (b) $K \approx 1$, (c) $K \gg 1$	24
Figura 7: Gráfico da distribuição Rice.	24
Figura 8: Função Densidade de Probabilidade Weibull.	25
Figura 9: Gráfico da distribuição Nakagami.	26
Figura 10: Gráfico da distribuição Gaussiana.	27
Figura 11: Curva de TOE da antena transmissora.	29
Figura 12: Sinais recebidos pela antena transmissora com polarização horizontal.	29
Figura 13: Ampliação do sinal recebido pela antena com polarização horizontal.	30
Figura 14: Sinais recebidos pela antena transmissora com polarização vertical.	30
Figura 15: Ampliação do sinal recebido pela antena com polarização vertical.	30
Figura 16: Equipamentos utilizados para levantar a curva de calibração do analisador.	31
Figura 17: Saída AUX VIDEO OUTPUT é ligada á placa de aquisição e esta é ligada ao computador.	32
Figura 18: Gráfico comportamental do analisador espectral para a faixa de 430 MHz.	33
Figura 19: Diagrama unifilar do sistema de transmissão/recepção.	35
Figura 20: Sistema transmissor: (a) gerador de sinal, (b) amplificador de potência e (c) fontes em paralelo.	36
Figura 21: Características da Antena Transmissora.	37
Figura 22: Diagrama de irradiação da Antena Transmissora.	37
Figura 23: Interface de aquisição dos sinais.	38
Figura 24: Sensor de posição.	38
Figura 25: Circuito formado pelo diodo emissor e detector de luz.	39
Figura 26: Tensões adquiridas pelo sensor de posição e nível de sinal medido.	39
Figura 27: Características da antena e curva de taxa de onda estacionária.	40
Figura 28: Visada da antena transmissora para o Perfil 1.	41
Figura 29: Visada da antena transmissora.	42
Figura 30: Situação considerando perda por parede.	42
Figura 31: Variação do nível de sinal recebido com a distância.	45
Figura 32: Potência recebida e média dos setores.	45
Figura 33: Desvanecimento rápido.	46
Figura 34: Reta de ajuste para o sombreamento.	46
Figura 35: Níveis de sinal recebido e perda com a distância.	47
Figura 36: Potência recebida.	48
Figura 37: Potência recebida e média dos setores.	48
Figura 38: Desvanecimento rápido.	49
Figura 39: Nível de potência recebida estimada.	49

Figura 40: Sinal recebido e perda com a distância.	50
Figura 41: Potência recebida.	51
Figura 42: Potência recebida e média dos setores.	51
Figura 43: Desvanecimento rápido.	52
Figura 44: Perda recebida estimada.	52
Figura 45: Sinal recebido e perda com a distância.	53
Figura 46: Potência recebida.	54
Figura 47: Potência recebida e média dos setores.	54
Figura 48: Desvanecimento rápido.	55
Figura 49: Perda recebida estimada.	55
Figura 50: Sinal recebido e perda com a distância.	56
Figura 51: Sombreamento e perda com a distância.	57
Figura 52: Desvanecimento rápido.	57
Figura 53: Perda com a distância.	58
Figura 54: Sombreamento e perda com a distância.	58
Figura 55: Desvanecimento rápido.	59
Figura 56: Perda com a distância.	59
Figura 57: Sombreamento e perda com a distância.	60
Figura 58: Desvanecimento rápido.	61
Figura 59: Perda com a distância.	61
Figura 60: Sombreamento e perda com a distância.	62
Figura 61: Desvanecimento rápido.	63
Figura 62: Perda com a distância.	63
Figura 63: Diferença entre as curvas de densidade.	65
Figura 64: Densidade de probabilidade perfil 1.	70
Figura 65: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 1.	75
Figura 66: Diferença entre as curvas de densidade.	77
Figura 67: Densidade de probabilidade perfil 2.	79
Figura 68: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 2.	81
Figura 69: Diferença entre as curvas de densidade.	83
Figura 70: Densidade de probabilidade perfil 3.	88
Figura 71: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 3.	93
Figura 72: Diferença entre as curvas de densidade.	95
Figura 73: Densidade de probabilidade perfil 4.	99
Figura 74: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 4.	103
Figura 75: Desvanecimento lento e perda com a distância.	105
Figura 76: Desvanecimento lento e perda com a distância.	105
Figura 77: Desvanecimento lento e perda com a distância.	106
Figura 78: Desvanecimento lento e perda com a distância.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação do “n” em relação ao Ambiente.	16
Tabela 2: Saída de tensão do analisador de espectro.....	33
Tabela 3: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 1	76
Tabela 4: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 2	82
Tabela 5: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 3	94
Tabela 6: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 4.....	104

Capítulo 1

1. INTRODUÇÃO

Entre as formas de comunicação e transmissão de dados que possibilitam altas taxas e grandes volumes de transmissão, estão as tecnologias de redes *wireless* (sem fio), que apresentam custo reduzido quando comparadas com tecnologias a cabo, além de oferecerem rapidez e facilidade na implantação. Dentre as tecnologias sem fio atuais, o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* / Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-ondas) se destaca, principalmente, como uma tecnologia de última milha (*last mile*), estabelecendo a parte final da infraestrutura de conexão de banda larga, oferecendo conectividade para uso doméstico, empresarial e em *hotspots*.

As bandas de frequências atribuídas para o sistema WiMAX em 2,5 GHz e 3,5 GHz são especificadas para fornecer serviços de comunicação em áreas urbanas e suburbanas, com tamanhos de células de 1 a 5 km, aplicáveis quando é necessária alta capacidade do sistema. Nessas bandas, entretanto, a prestação de serviços de *internet* fica limitada pelas condições de visada, por isso, para áreas rurais o Fórum de WiMAX trabalha com organismos mundiais de padronização e regulamentação para avançar na alocação do espectro de banda de frequência mais baixa e estudos têm mostrado [12] que o WiMAX, na frequência de 450 MHz, fornece cobertura de grandes áreas rurais.

No intuito de contribuir para projetos de sistemas WiMAX nesta faixa de frequência, esta dissertação trata da caracterização do canal rádio móvel para frequências próximas de 450 MHz, que vem sendo alvo da Telebrás em parceria com o Ceitec, empresa pública de semicondutores brasileira, no desenvolvimento de um *chip* que usará tecnologia WiMAX, nessa faixa, para o Plano Nacional de Banda Larga (PNBL) [13], ou até mesmo usar em caráter secundário para cobertura rural, onde apresenta bons resultados, cobrindo um raio de 60 km [14] e [15]. Outra tecnologia, capaz de operar bem nessa faixa de frequência mais baixa é o CDMA, que possui alguns trunfos, como a capilaridade da tecnologia, presente em 75 países, 125 operadoras, totalizando 120 milhões de assinantes, tendo baixo custo de infraestrutura [16].

Neste trabalho, foi realizada a caracterização do canal radio móvel na faixa de 430 MHz. Esta frequência foi a escolhida, pois foi aquela onde a antena apresentou a menor taxa de onda estacionária. Além disso, conforme será observado no capítulo 4, esta frequência não apresenta interferência de outros sinais que poderiam alterar de forma significativa os

resultados obtidos. Ademais, ela está próxima da frequência de 450 MHz, logo apresenta resultados similares e é de extrema importância para uso em sistemas WiMax e CDMA450.

Além do estudo da variabilidade do sinal de 430 MHz, medido em ambiente *indoor*, nos corredores do bloco E da Escola de Engenharia da UFF, este trabalho também faz uso de duas técnicas na análise estatística do desvanecimento em pequena e grande escalas e perda no percurso: setorização e FMM (Filtro de Média Móvel), comparando os resultados obtidos e buscando os tamanhos apropriados das janelas dos FMMS que vão produzir soluções semelhantes para as distribuições estatísticas dos desvanecimentos.

O capítulo 1 dá uma ideia geral do que será abordado nesta dissertação e fornece a motivação e a importância do seu desenvolvimento. O capítulo 2 fala sobre os principais mecanismos de propagação e apresenta conceitos básicos para melhor compreensão deste trabalho. O capítulo 3 faz um estudo das principais distribuições estatísticas do sinal, abordando suas características e propriedades. No capítulo 4 é apresentado o *setup* de medições e o ambiente sondado, apresentando o sistema de transmissão e de recepção, com as características dos equipamentos utilizados para a realização das medições deste trabalho. No capítulo 5, são mostrados os resultados e análises das medições e o capítulo 6 descreve as conclusões.

Capítulo 2

2. PROPAGAÇÃO NO CANAL RÁDIO MÓVEL

O sinal captado pelo receptor pode ser proveniente de diferentes percursos com intensidade e fase distintas, apresentando interferência construtiva ou destrutiva. Isso ocorre porque o sinal chega ao receptor por diferentes mecanismos de propagação, gerando multipercursos, que por sua vez acarretam no desvanecimento do sinal.

2.1 MECANISMOS DE PROPAGAÇÃO

Os principais mecanismos de propagação são:

- Visibilidade – Quando não há presença de obstáculos como montanhas, prédios e árvores entre as antenas de transmissão e recepção, que poderiam obstruir o sinal a ser transmitido e, neste caso, diz-se que o radioenlace está em visada (LOS). Em caso contrário, o radioenlace é dito estar sem visada (NLOS).
- Difração – É o fenômeno que consiste em um desvio da trajetória original da onda eletromagnética ao se deparar com obstáculos, fazendo a onda atingir pontos que não estão em visada.
- Reflexão – Ocorre quando o raio transmitido se depara com regiões planas como prédio, mares e terrenos planos e sofre desvio obedecendo à lei da reflexão de Snell, onde o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Esse tipo de fenômeno causa atenuação por interferência
- Espalhamento – Ocorre quando a superfície refletora é irregular. A onda refletida em uma superfície não lisa espalha a energia do sinal em diversas direções, reduzindo a energia em determinada direção e aumentando a energia irradiada em outras direções. O grau de espalhamento depende do ângulo de incidência e da rugosidade da superfície comparada ao comprimento de onda incidente.

A Figura 1 exemplifica os quatro mecanismos principais de propagação: visibilidade, difração, reflexão e espalhamento.

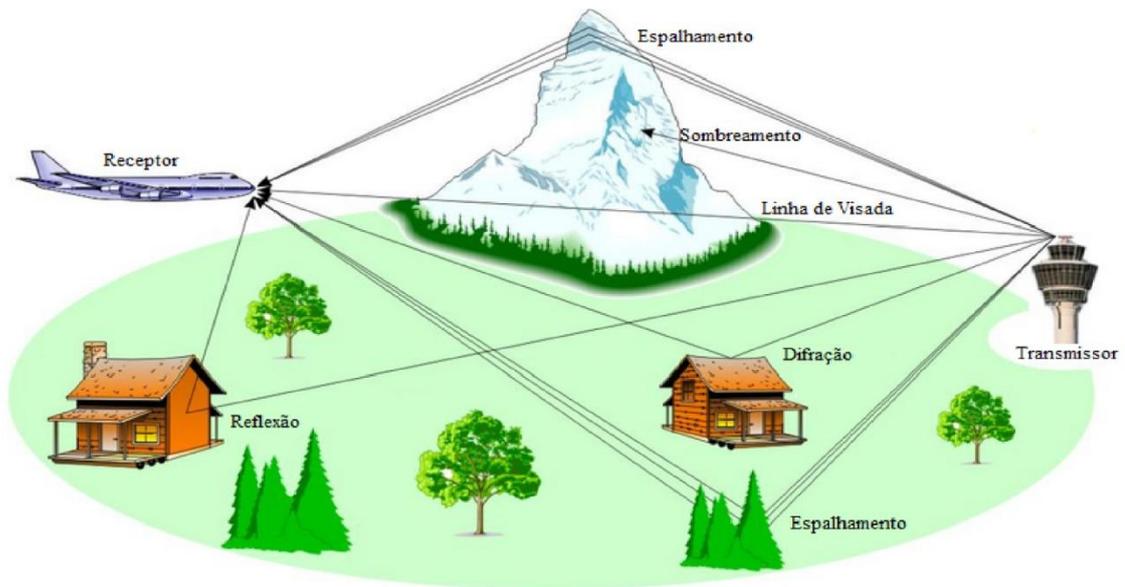


Figura 1: Mecanismos de propagação.

2.2 EFEITOS DE PROPAGAÇÃO

Na propagação da onda eletromagnética são identificados os efeitos de propagação que determinam as variações em pequena e grande escalas do sinal. Os efeitos são identificados como perda no percurso, desvanecimento em grande escala, ou sombreamento, e desvanecimento em pequena escala, sendo definidos a seguir. A Figura 2 mostra os efeitos no sinal devido à propagação no canal radiomóvel.

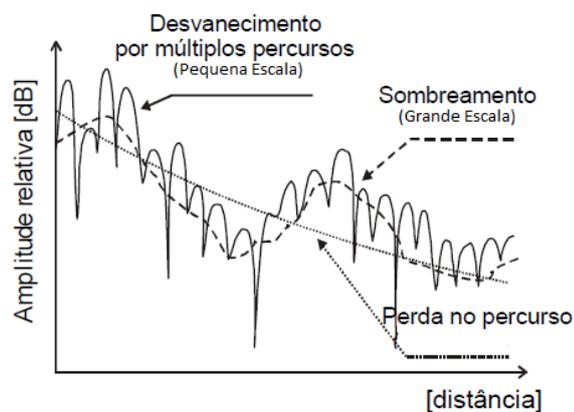


Figura 2: Efeitos de propagação no canal radiomóvel sobre o sinal.

- Perda no Percurso (*Path Loss*)

O nível de sinal recebido por uma estação receptora diminui conforme o aumento da distância à estação transmissora. A potência média do sinal decai de forma logarítmica com a

distância em ambientes internos ou externos. A variação da potência recebida, em relação à distância de uma estação transmissora, obedece à equação (2.1), que representa a atenuação do sinal entre dois pontos de uma rota, situados à distância d e d_0 da antena transmissora, sendo d_0 uma distância de referência próxima a essa antena, em geral igual a 1 km para ambientes externos e 1 m para ambientes internos:

$$P_r(d) = P_0(d_0) - 10\log(d/d_0)^n \quad (2.1)$$

O parâmetro n representa um coeficiente de atenuação do sinal no meio em que se propaga com alguns valores típicos mostrados na Tabela 1.

Ambiente	Valor de “n”
Linha de Visada <i>Indoor</i>	1,6 a 1,8
Espaço Livre	2
Zona Urbana de Radiocomunicações	2,7 a 3,5
Zona Urbana Sombreada de Radiocomunicações	3 a 5
Zona Obstruída por Edifícios	4 a 6

Tabela 1: Variação do “n” em relação ao Ambiente.

- Sombreamento ou Desvanecimento em Grande Escala

O desvanecimento em grande escala está relacionado a obstruções naturais (relevo e vegetação) e a construções, como casas e edifícios, que fazem com que o receptor fique em uma região de sombra eletromagnética (ou de nível de sinal bastante reduzido), quando há obstrução. Nesse caso, o sinal chega ao receptor basicamente através de difração e espalhamento, e a amplitude do sinal assim recebido segue, em geral, uma função de densidade de probabilidade (fdp) Gaussiana.

- Multipercurso ou Desvanecimento em Pequena Escala

Esta perda no sinal é causada por flutuações rápidas da amplitude do sinal de rádio. Este fenômeno é ocasionado pela chegada ao receptor de um mesmo sinal em diferentes instantes, através de diferentes mecanismos de propagação, ocasionando grandes e rápidas

variações de amplitude e fase, causadas pela presença de objetos que refletem e espalham o sinal no ambiente de recepção como mostra a Figura 3.

Considerando que não são possíveis previsões exatas das causas de desvanecimento, este fenômeno é considerado aleatório e os modelos usados para esse fenômeno são baseados em métodos estatísticos, que normalmente envolvem distribuições de probabilidade do tipo Rayleigh, Nakagami, Rice [1], dentre outras.

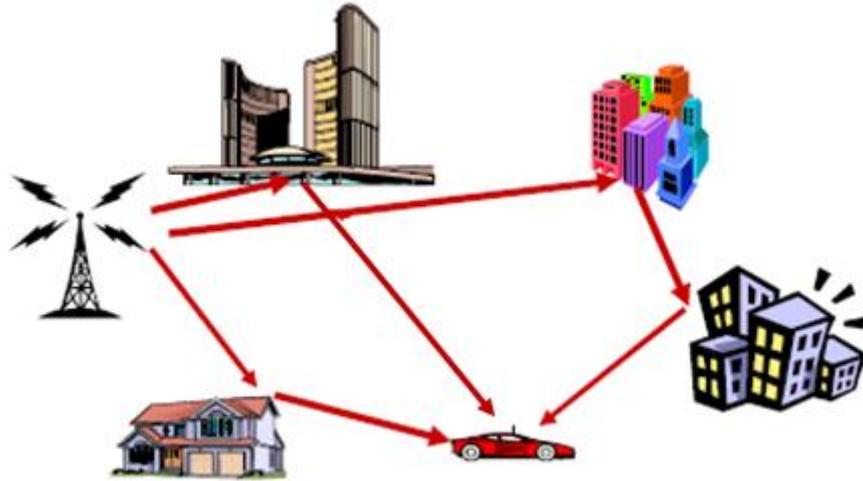


Figura 3: Sinal recebido através de multipercursos.

2.3 TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DOS EFEITOS DE PROPAGAÇÃO

Duas técnicas para analisar os efeitos de propagação serão aqui discutidas: setorização e filtro de média móvel (FMM). Ambas as técnicas aplicam janelas aos sinais obtidos pelas medições e o objetivo será o de escolher o melhor tamanho da janela para as técnicas usadas.

Uma vez conhecidos os níveis de sinal medidos em um ambiente, através de sondagem realizada no mesmo, os três efeitos de propagação citados no item 2.2 podem ser identificados. Usualmente, é empregada a técnica de setorização [9] e [17] e este trabalho, parte do uso de filtro de média móvel sugerido ROLIM [35] e faz uma comparação entre os resultados, buscando qual o melhor tamanho de janela do FMM para analisar tais efeitos no sinal medido.

2.3.1 Setorização

A técnica de setorização consiste na divisão do sinal em setores, caracterizados por desvanecimento lento praticamente constante [9], permitindo que se extraia o desvanecimento rápido do sinal medido. Lee [9] sugere que tais setores sejam tomados na faixa de 20λ a 40λ , onde λ é o comprimento de onda do sinal em propagação. Já Urie [19] mostra que tais setores não devem ser menores que 5λ , para não acarretar erros excessivos na estimativa da média local, nem maiores que 40λ , de forma que as condições locais não mais se aplicam e a média deixe de ser significativa.

Após a setorização do sinal, para se obter o desvanecimento em larga escala, é necessário calcular a média das amostras do sinal em cada setor, produzindo os pontos de média, que simbolizam a variação do desvanecimento lento do sinal. Deve-se, ainda, dividir cada amostra do sinal por sua correspondente média do setor (normalização) para retirar o efeito da perda com a distância e do sombreamento, obtendo-se apenas o desvanecimento rápido.

2.3.2 Filtro de Média Móvel (FMM)

O filtro de média móvel é usado, em geral, para minimizar o efeito do ruído embutido em um sinal. Como o sinal medido é aleatório, assim como um sinal de ruído, pode-se fazer uso do FMM para separar os sinais de desvanecimento tanto em pequena quanto em grande escala, bastando que se usem janelas de tamanhos adequados.

Neste trabalho, então, usa-se da filtragem de média móvel para separar as três principais componentes (desvanecimento em pequena escala, desvanecimento em larga escala e a perda no percurso) do sinal visto à aleatoriedade do sinal recebido no ambiente móvel, acarretando na sua variabilidade. Foi escolhida uma janela móvel de tamanho J que percorrerá as N amostras do sinal, calculando a média aritmética entre as amostras pertencentes a esta janela e eliminando a sua variabilidade rápida, obtendo na saída do filtro um sinal com variabilidade menor do que o sinal de entrada, ou seja: obtendo um sinal mais suave, sem muita variação. A i -ésima amostra de saída do filtro é obtida a partir da equação (2.2):

$$y[i] = \frac{1}{N+M+1} \sum_{k=-N}^M x[i+k] \quad (2.2)$$

onde:

i é o índice das amostras do FMM;

$y[i]$ é o valor da i -ésima amostra de saída;

N é o número de amostras do sinal de entrada antes do ponto i ;

M é o número de amostras consideradas no cálculo da média após o ponto i na janela móvel.

2.3.2.1 PROCEDIMENTO

Observando-se a Figura 4, após a passagem do sinal pelo 1º filtro de média móvel (FMM1) obtém-se o sombreamento somado à perda no percurso (S+P). Pela diferença deste sinal ao sinal de entrada (SO), resta o sinal de desvanecimento em pequena escala (R), muitas vezes também chamado de componente Rayleigh (o que é verdade em muitos ambientes sem visada). Tomando-se o sinal de saída do FMM1 e colocando como entrada do FMM2, obtém-se apenas a perda no percurso (P) na saída do FMM2 e, subtraindo-se esse sinal do sinal de entrada do FMM2 (S+P), obtém-se a variação lenta do sinal (S). Enfim, passando o sinal original por dois filtros de média móvel, é possível se obter os três principais efeitos separados do sinal: sombreamento, desvanecimento em pequena escala e perda no percurso (S, R e P).

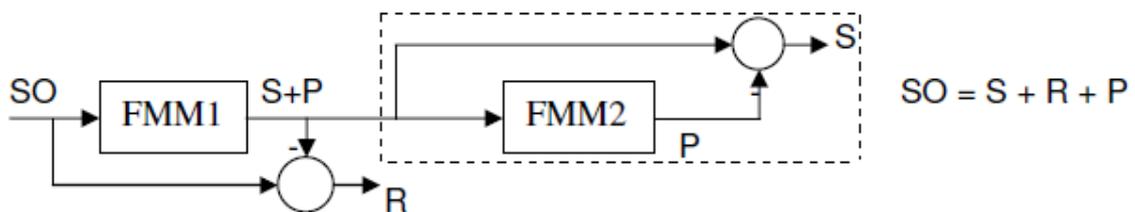


Figura 4: Diagrama mostrando a obtenção dos sinais R, S e P. (Fonte: artigo Semenge)

Capítulo 3

3. DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS DA VARIABILIDADE DO SINAL RADIOMÓVEL

Neste capítulo, serão abordadas as distribuições mais usuais que caracterizam um canal radiomóvel. Tais distribuições dependem, principalmente, das características do meio e da visibilidade entre o transmissor e o receptor, e descreve a variabilidade do sinal recebido no canal sondado.

3.1 DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS

3.1.1 Distribuição Rayleigh

É uma distribuição onde não há presença de uma componente dominante de sinal, ou seja, um sinal com características da distribuição Rayleigh normalmente não está em visada. Está associada à variação rápida do sinal que é formado por um grande número de multipercursos com diferentes fases e amplitudes. Os multipercursos do sinal transmitido podem estar em fase combinando em uma forma construtiva, ou seja, resultando em uma soma de sinais ou podem estar em oposição de fase, combinando em uma forma destrutiva, resultando em uma subtração de sinais. A função densidade de probabilidade é obtida considerando uma portadora s , com amplitude a e frequência angular w_0 , escrita de acordo com a equação (3.1) [2].

$$s = ae^{jw_0t} \quad (3.1)$$

Considerando a_i como a amplitude e θ_i como a fase da i -ésima onda espalhada, o sinal obtido pelo receptor móvel (S_r) é o resultado da soma de n ondas espalhadas, conforme a equação (3.2).

$$S_r = \sum_{i=1}^n a_i e^{j(w_0t + \theta_i)} \quad (3.2)$$

que é equivalente a:

$$S_r = re^{j(w_0t + \theta_i)} \quad (3.3)$$

onde,

$$r e^{j\theta} = \sum_{i=1}^n a_i e^{j\theta_i} \quad (3.4)$$

Na equação (3.4) r representa a envoltória do sinal recebido na forma polar, representado na equação (3.5):

$$r e^{j\theta} = \sum_{i=1}^n a_i \cos \theta_i + j \sum_{i=1}^n a_i \sin \theta_i \triangleq x + jy \quad (3.5)$$

então,

$$x \triangleq \sum_{i=1}^n a_i \cos \theta_i \text{ e } y \triangleq \sum_{i=1}^n a_i \sin \theta_i \quad (3.6)$$

onde,

$$\left. \begin{aligned} r^2 &= x^2 + y^2 \\ x &= r \cos \theta \\ y &= r \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Considerando n muito grande, as amplitudes individuais a_i são aleatórias e a fase θ_i com distribuição uniforme, e usando o Teorema do Limite Central, x e y podem ser consideradas variáveis gaussianas com média igual a zero e variâncias iguais a $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 \triangleq \sigma_r^2$, portanto, suas funções densidade de probabilidade são dadas pela equação (3.8):

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} e^{-\left(\frac{z^2}{2\sigma_r^2}\right)} \quad (3.8)$$

onde $z = x$ ou $z = y$, como requerido.

Considerando que x e y são variáveis aleatórias gaussianas independentes e de mesmo desvio padrão, então a distribuição de probabilidade conjunta, $p(x, y)$, é dada pela equação (3.9):

$$p(x, y) = p(x)p(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_r^2} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma_r^2}\right)} \quad (3.9)$$

A partir de $p(x, y)$ pode ser escrita a função $p(r, \theta)$:

$$p(r, \theta) = |J| p(x, y) \quad (3.10)$$

onde J é dado por:

$$J \triangleq \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \theta} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \theta} \end{vmatrix} \quad (3.11)$$

onde J representa o Jacobiano das transformações de x e y em r e θ . Usando as equações (3.7) obtém-se $J = r$.

Substituindo J por r na equação (3.9), tem-se a função distribuição de probabilidade conjunta em função de r e θ , dada pela equação (3.12):

$$p(r, \theta) = \frac{r}{2\pi\sigma_r^2} e^{-\left(\frac{r^2}{2\sigma_r^2}\right)} \quad (3.12)$$

A função densidade de probabilidade, $p(r)$, é obtida através de $p(r, \theta)$ na faixa de variação de θ :

$$p(r) = \int_0^{2\pi} p(r, \theta) d\theta \quad (3.13)$$

onde,

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma_r^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_r^2}}, & \text{para } r \geq 0 \\ 0, & \text{para outros valores} \end{cases} \quad (3.14)$$

Na equação (3.14) r é a envoltória do sinal e σ_r^2 é a variância das componentes em fase e em quadratura que compõem o sinal S_r . σ_r^2 também pode ser interpretado como a média temporal da potência do sinal antes da detecção da envoltória. A Figura 5 mostra o gráfico da distribuição de Rayleigh para diferentes valores de σ :

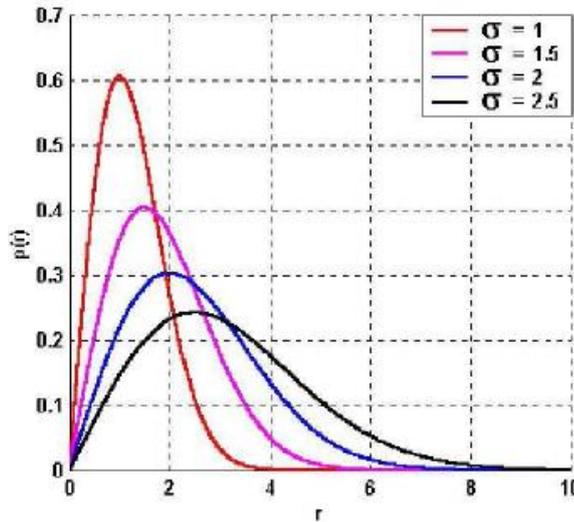


Figura 5: Gráfico da Distribuição Rayleigh.

3.1.2 Distribuição Rice

Esta distribuição costuma representar a variabilidade rápida do sinal quando este possui, pelo menos, uma componente com intensidade muito superior em relação às componentes do multipercurso. Segundo PARSONS [6] a função densidade de probabilidade correspondente é dada pela equação (3.15):

$$p(r) = \frac{r}{\sigma_r^2} e^{-\left(\frac{r^2+a^2}{2\sigma_r^2}\right)} I_0\left(\frac{ar}{\sigma_r^2}\right) \quad (3.15)$$

onde,

r é a envoltória do sinal,

$\frac{a^2}{2}$ é a potência do sinal de intensidade dominante

σ_r^2 é a variância das componentes do sinal r

I_0 é a função de Bessel modificada, de ordem zero definida como (3.16):

$$I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{x \cos \theta} d\theta \quad (3.16)$$

Pode ser observado que para a distribuição de Rice se tornar a distribuição de Rayleigh basta a variável “a” ser igual a zero, então é definido o fator K como sendo a relação entre a potência da componente dominante e a potência das componentes de multipercurso, segundo a equação (3.17):

$$K = \frac{a^2}{2\sigma_r^2} \quad (3.17)$$

Caso não haja componente dominante do sinal (ambiente sem visada direta) temos que a é igual a zero, logo o fator K também será igual a zero, fazendo com que a distribuição Rice recaia em uma distribuição Rayleigh. Por outro lado, quando o fator K assume valores muito elevados, a distribuição Rice cai em uma distribuição Gaussiana. Neste caso, há um forte predomínio da componente direta (ambiente com visada), de modo que a influência do multipercurso é considerada desprezível. A Figura 6 mostra as curvas de Rice para diferentes valores de K , tendendo para a curva de Rayleigh à medida que K tende a zero e tendendo para uma curva Gaussiana quando K tende para infinito.

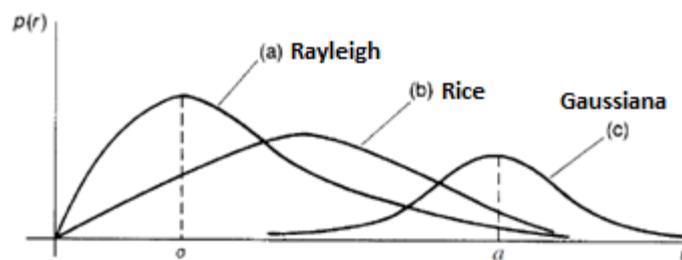


Figura 6: Comparação entre as FDP: (a) $K \rightarrow 0$, (b) $K \approx 1$, (c) $K \gg 1$.

A Figura 7 mostra outro gráfico da distribuição de Rice para diferentes valores de K .

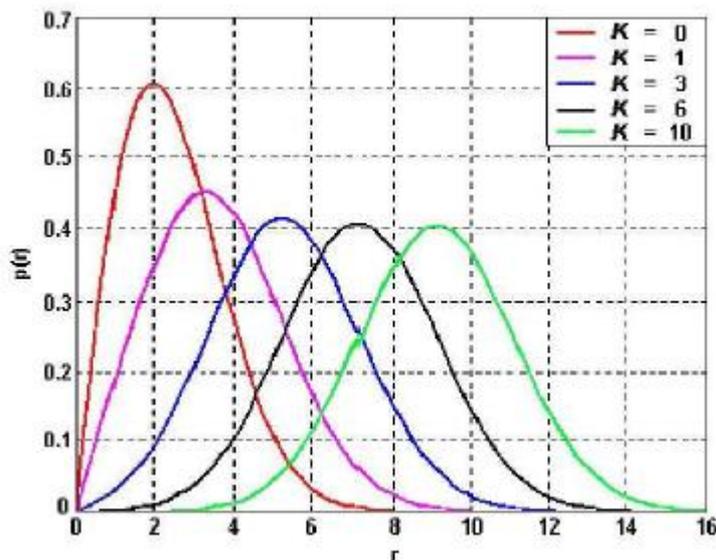


Figura 7: Gráfico da distribuição Rice.

3.1.3 Distribuição Weibull

A função densidade de probabilidade Weibull também é usada para caracterizar o desvanecimento, em pequena escala, em um ambiente com o predomínio de multipercursos. Sua função densidade de probabilidade é dada pela equação (3.18):

$$p_{\alpha}(\alpha) = c \left(\frac{\Gamma(1+\frac{2}{c})}{\Omega} \right)^{c/2} \alpha^{c-1} e^{-\left(\frac{\alpha^2}{\Omega} \Gamma(1+\frac{2}{c}) \right)^{c/2}}, \alpha \geq 0 \quad (3.18)$$

Na Figura 8 pode-se observar a distribuição Weibull para alguns valores de c , fixando $\Omega = 1$. Note que para $c = 2$ a distribuição de Weibull se torna a distribuição de Rayleigh e para $c = 1$ a equação descreve uma distribuição exponencial. A Figura 8 mostra o gráfico da distribuição de Weibull para distintos valores de c , com $\Omega = 1$.

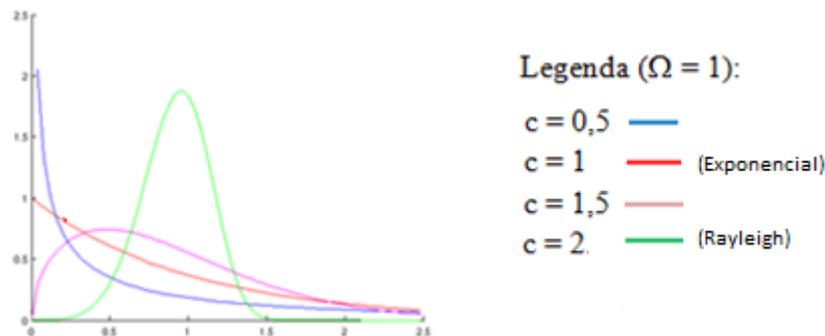


Figura 8: Função Densidade de Probabilidade Weibull.

3.1.4 Distribuição Nakagami

A Distribuição Nakagami é comumente usada para caracterizar o desvanecimento rápido de um sinal em alta frequência. A modelagem desta distribuição pode representar desvanecimentos mais profundos. A FDP é dada pela equação (3.19):

$$p(r) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega} \right)^m r^{2m-1} e^{-mr^2/\Omega} \quad (3.19)$$

em que:

$$\Omega = E(r^2) \quad (3.20)$$

$\Gamma(\cdot)$ é a função Gama, dada pela equação (3.21):

$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} x^{m-1} e^{-x} dx \quad (3.21)$$

e m é o parâmetro chamado fator de forma ou fator de desvanecimento:

$$m = \frac{\Omega^2}{E[(r^2 - \Omega)^2]}, \quad m \geq \frac{1}{2} \quad (3.22)$$

que é o mesmo que o inverso da variância normalizada de r^2 .

Como pode ser visto, esta distribuição tem dois parâmetros para que se ajustam a estatística de desvanecimento do canal (m e Ω), diferentemente da distribuição de Rayleigh que possui apenas um (σ). Quando $m = 1$, obtém-se a distribuição de Rayleigh e se $m = 1/2$, a distribuição de Nakagami recai na distribuição Gaussiana unilateral. Segundo [3] a expressão de Nakagami pode se aproximar das expressões de densidade Rice e log-normal em determinados domínios e limites. O fato de a distribuição possuir dois parâmetros faz com que o processo de modelagem tenha maior flexibilidade, mas também seja mais trabalhoso. A Figura 9 mostra o gráfico da distribuição de Nakagami para alguns valores de m .

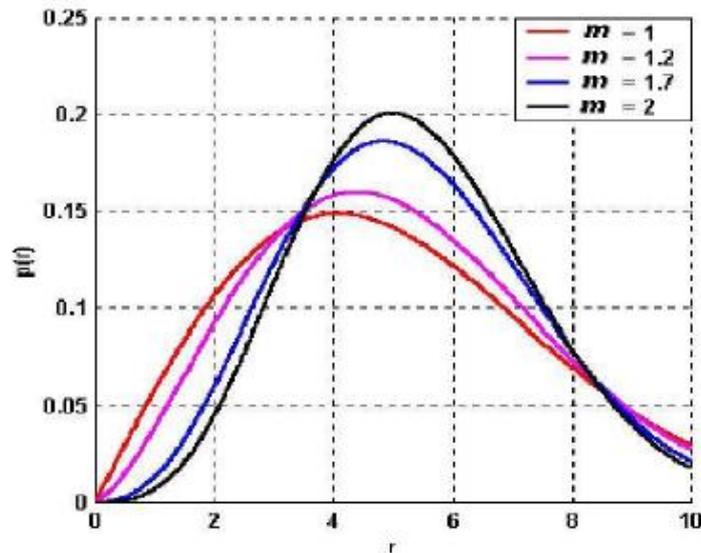


Figura 9: Gráfico da distribuição Nakagami.

3.1.5 Distribuição Gaussiana

Conforme [8] esta distribuição é aplicada a qualquer sinal com variável contínua. É inteiramente descrita por seus parâmetros: média (μ) e desvio padrão (σ) ou, equivalentemente, a variância σ^2 . A média refere-se ao centro da distribuição e o desvio padrão, ao espalhamento de curva. A distribuição Gaussiana é simétrica em torno da média o que implica que a média, a mediana e a moda são todas coincidentes. Sua função densidade de probabilidade é dada por (3.23):

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (3.23)$$

A distribuição Gaussiana é encontrada, principalmente, quando os valores da quantidade considerada resultam do efeito aditivo de numerosas causas aleatórias, cada uma delas com a sua relativa importância. Esta distribuição é usada para representar valores flutuantes ao redor da média. Na Figura 10 está representado o gráfico da distribuição Normal para diferentes valores de μ e σ^2 .

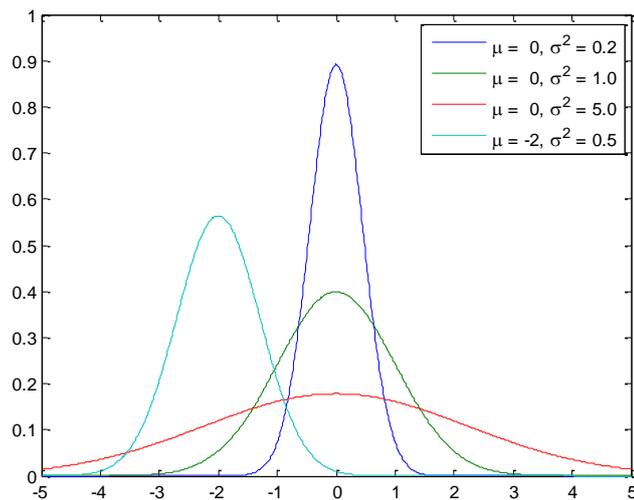


Figura 10: Gráfico da distribuição Gaussiana.

Capítulo 4

4. SETUP E AMBIENTES DE MEDIÇÕES

Este capítulo apresenta uma descrição dos equipamentos utilizados nas medições e suas características. Também é feita uma descrição dos quatro perfis de medição, além dos procedimentos adotados para obtenção dos resultados. As propriedades das antenas transmissora e receptora são de importância fundamental para o posterior entendimento dos resultados obtidos, levando-se em consideração dados importantes como a banda de operação, o diagrama de irradiação e o ganho.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

4.1.1 Escolha da Frequência

A escolha da frequência foi feita baseada em duas premissas: material disponível para o trabalho e a possibilidade de uso das faixas de frequência 450 MHz e 700 MHz para transmissão WiMAX, como já existe em outros países.

O primeiro passo foi levantar a curva de TOE (taxa de onda estacionária) da antena receptora. A taxa de onda estacionária é definida como a razão entre os valores de campo elétrico máximo e mínimo ao longo do meio de reflexão, como mostra a equação (4.1):

$$TOE = \frac{|E_{max}|}{|E_{min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (4.1)$$

onde Γ representa o coeficiente de reflexão na carga e varia na faixa de (-1 a 1), enquanto a TOE varia de 1 a infinito, representando:

$$|\Gamma| = 1 \rightarrow TOE = \infty \rightarrow \text{Reflexão total}$$

$$|\Gamma| = 0 \rightarrow TOE = 1 \rightarrow \text{sem reflexão, indicando casamento de linha à carga}$$

Para fins práticos, é interessante ter-se TOE entre 1 e 1,3 para assumir que há um bom casamento de impedâncias. A Figura 11 mostra a curva da TOE da antena transmissora usada, levantada em ambiente de laboratório. Vale lembrar que o ideal seria em uma câmara anecoica, onde reflexões não interfeririam nos resultados.

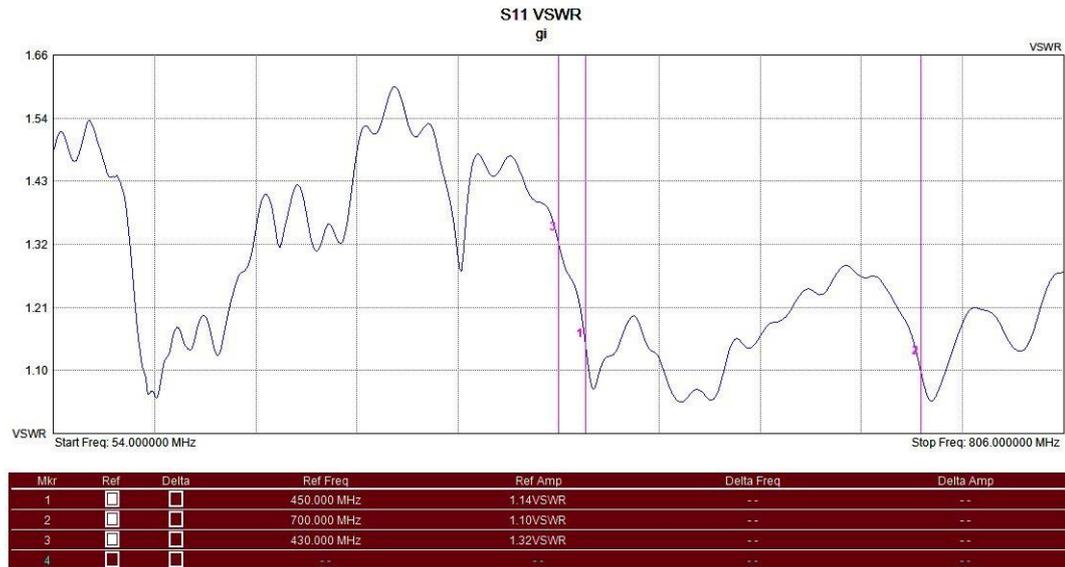


Figura 11: Curva de TOE da antena transmissora.

Nesta curva foram inseridos três marcadores, onde os valores entre o marcador 1 e o marcador 2 representam as frequências UHF nas quais se pretende usar para WiMAX e o marcador 3 indica a frequência que será usada neste trabalho.

A partir do momento que é sabido o comportamento da TOE pela frequência da antena transmissora, o próximo passo é escolher uma faixa de frequência onde não esteja sendo recebida nenhuma portadora externa, para que se possa trabalhar sem sofrer nem gerar interferência em sinal algum. Para isso, o analisador de espectro foi configurado com a banda de frequência da antena e fizemos uma varredura do sinal que recebido pela antena em toda a região do campus da Praia Vermelha da Universidade Federal Fluminense, conforme mostram as Figuras 12, 13, 14 e 15.

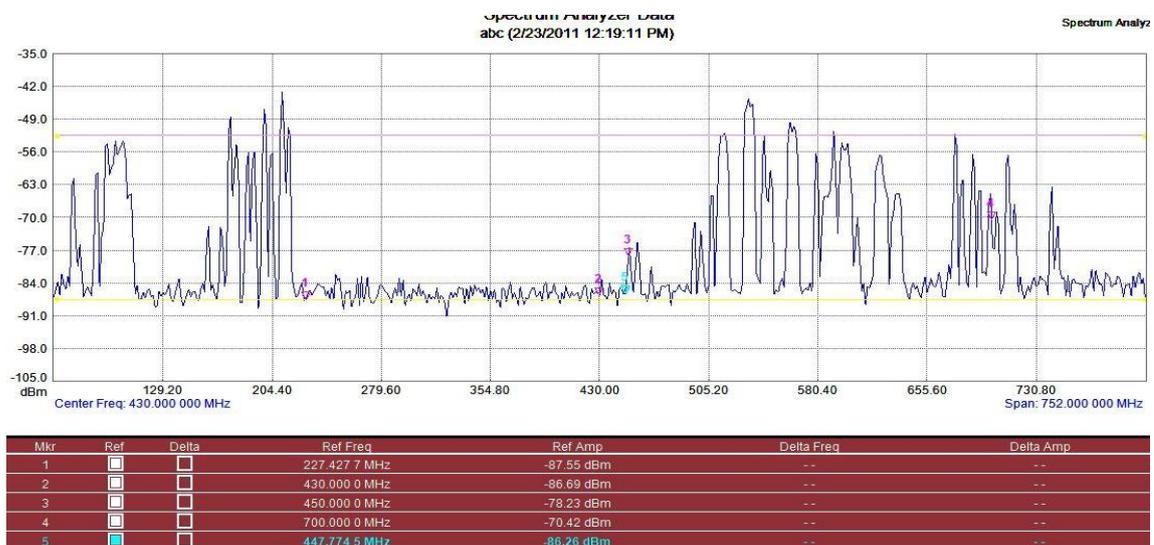


Figura 12: Sinais recebidos pela antena transmissora com polarização horizontal.

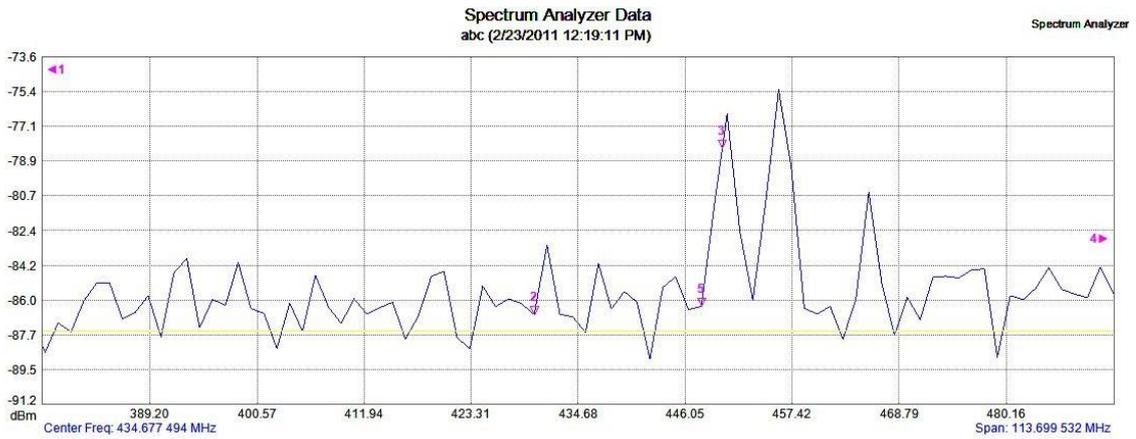
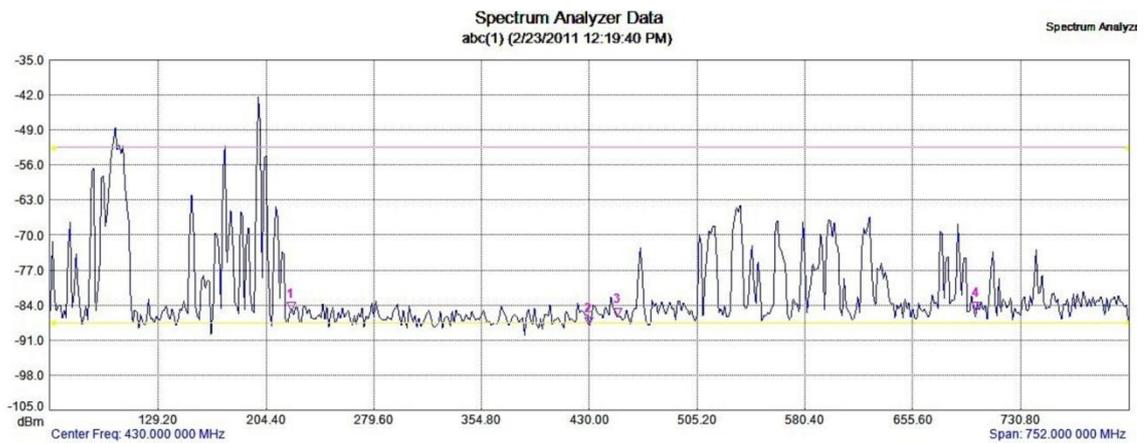


Figura 13: Ampliação do sinal recebido pela antena com polarização horizontal.



Mkr	Ref	Delta	Ref Freq	Ref Amp	Delta Freq	Delta Amp
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	221.670 8 MHz	-85.17 dBm	--	--
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	430.000 0 MHz	-88.08 dBm	--	--
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	450.000 0 MHz	-86.27 dBm	--	--
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	700.000 0 MHz	-85.09 dBm	--	--

Figura 14: Sinais recebidos pela antena transmissora com polarização vertical.

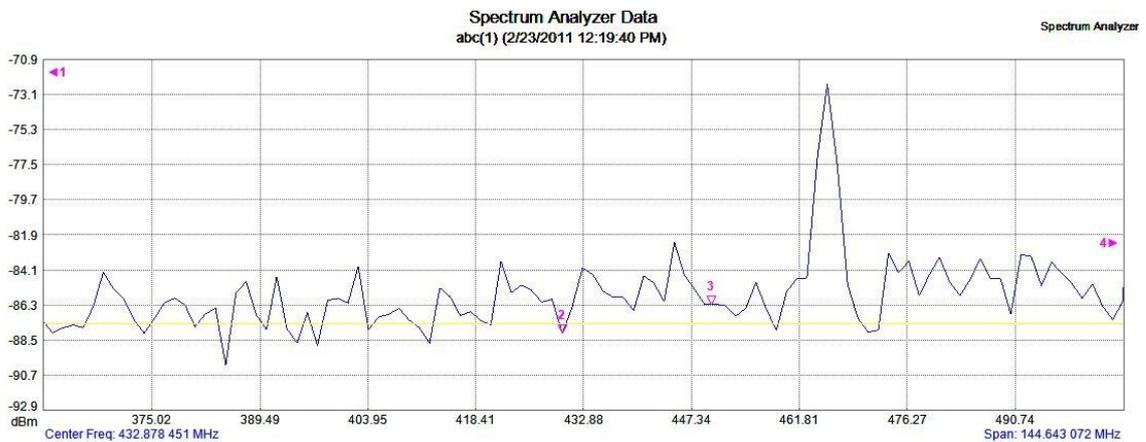


Figura 15: Ampliação do sinal recebido pela antena com polarização vertical.

Conforme pode se observar pelas figuras, há sinais sendo recebidos a todo instante pela antena nas frequências de 450 MHz e de 700 MHz. Sendo assim, foi escolhida como frequência de trabalho 430 MHz, conforme premissas ditas inicialmente e por ter um comportamento bem parecido com a frequência de 450 MHz. Esta faixa de frequência é utilizada para Radioamador, atualmente. [RESOLUÇÃO ANATEL N° 452/2006 (D.O.U. de 20.12.2006)]

4.1.2 Configurações Básicas do Analisador de Espectro HP 8594E para a Frequência de 430 MHz: Curva de Ajuste

Como o sinal recebido nas medições será coletado na saída de vídeo do analisador de espectro e este só varia de 0 a 1V, é necessário obter a curva de calibração dBm x Volt do analisador. Tal curva de ajuste fornece o nível de tensão em Volts, na saída do analisador de acordo com a potência de entrada fornecida em dBm pelo gerador de sinal. Com ela podemos levar em conta o comportamento do analisador durante o processo de aquisição de dados. As Figuras 16 e 17 ilustram este processo.



Figura 16: Equipamentos utilizados para levantar a curva de calibração do analisador.



Figura 17: Saída AUX VIDEO OUTPUT é ligada á placa de aquisição e esta é ligada ao computador.

Através da placa de aquisição de dados DAQ-AI-16XE-50 da National Instruments, cedida pela PUC/RJ e do software Measurement & Automation Explorer, é possível coletar os dados de saída do analisador, em volts, para diferentes níveis de potência. Plota-se, então o gráfico comportamental do analisador. A Tabela 2 e a figura 18 ilustram este processo.

Já de posse dos dados do analisador, a próxima etapa é calcular os coeficientes angular e linear da reta. Para tal, considera-se a curva apenas a partir de $x = -70$ dBm onde a mesma apresenta comportamento linear. Para a equação do primeiro grau $y = ax + b$, onde y é o nível de sinal em dBm e x é a tensão de saída do analisador em volts, basta substituir os valores da Tabela 2 para chegar às constantes a e b , chegando a equação: $y = 76,424x + 74,431$. Esta curva é utilizada no programa de aquisição de dados, criado em MATLAB, para se determinar os níveis de sinal relativo às tensões adquiridas.

Nível (dBm)	Tensão de Saída (V)
0	0,9769
-5	0,9096
-10	0,8431
-15	0,778
-20	0,7133
-25	0,6463
-30	0,5811
-35	0,5142
-40	0,449
-45	0,3817
-50	0,3167
-55	0,2513
-60	0,1856
-65	0,1217
-70	0,0708

Tabela 2: Saída de tensão do analisador de espectro.

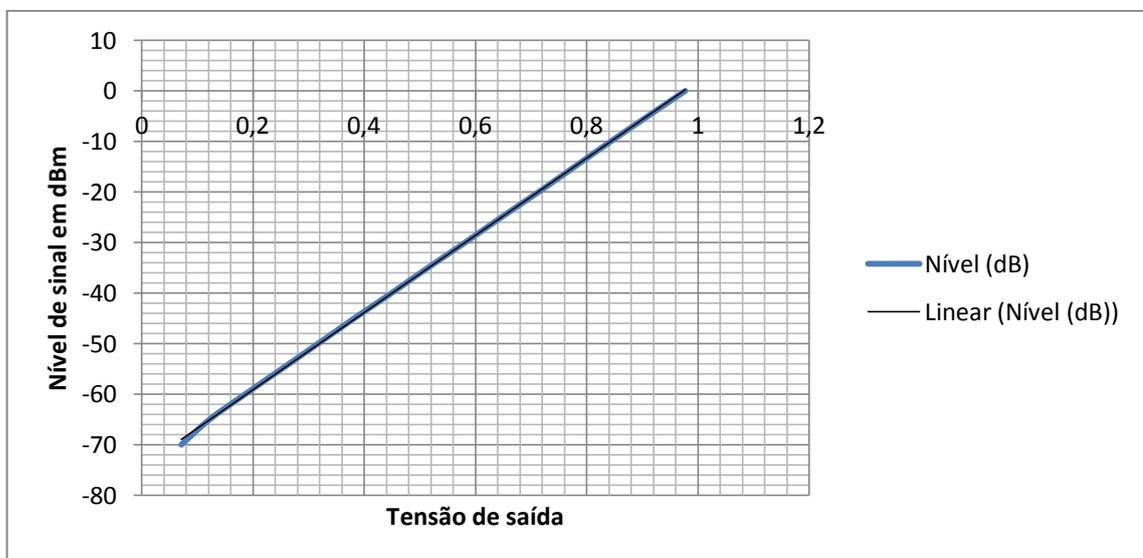


Figura 18: Gráfico comportamental do analisador espectral para a faixa de 430 MHz.

4.1.3 Taxa de Amostragem

A taxa de amostragem (T_a), usada na aquisição dos dados, é um parâmetro muito importante para a medição, pois dependendo da quantidade de amostras colhidas por segundo, isto pode tornar o programa muito pesado e de processamento lento ou, então, pode fazer com que as amostras sejam insuficientes para observar o comportamento do sinal.

Quando medidas faixa estreita são realizadas observa-se que, para se obter o sinal de variação em pequena escala com os *fadings* profundos detectados, é necessário que a distância entre duas amostras esteja abaixo de $0,5 \lambda$. PARSONS [6] sugere que $d = 0,01 \lambda$ deve ser usado para detectar tais *fadings*. Tal faixa satisfaz ao critério de Nyquist onde a largura de Faixa B do sinal é tomada como $2 f_m$, que é o máximo deslocamento de Doppler sofrido pela portadora. Neste caso:

$$T_a \geq 2 B \text{ amostras/s} \Rightarrow T_a = 4f_m \text{ amostras/s} \Rightarrow T_a = \frac{v}{0,25\lambda}$$

e o espaçamento entre amostras é $0,25 \lambda$. Observa-se que a condição $d = 0,01 \lambda$ garante amostras mais próximas, portanto satisfaz ao critério de Nyquist e ao deslocamento Doppler sofrido pela portadora.

Nessa condição, a $T_a = v/0,01 \lambda = 100 v/\lambda$. Na prática, tem-se observado [10] e [11] que para ambientes internos e externos, que $d = 0,05 \lambda$ é suficiente para detectar tais *fadings* ou seja:

$$T_a = v/(0,05\lambda) \equiv 20 v/\lambda \quad (4.2)$$

Neste caso, o sinal de *fading* rápido já se aproxima muito daquele medido com taxa igual a $100 v/\lambda$. Com isto, se ganha tempo de processamento e também não se adquire amostras com alto grau de correlação.

Como a frequência usada neste projeto é relativamente baixa, a taxa de amostragem não tem limitação devido a *hardware*, portanto, pode-se usar uma taxa de amostragem maior que $20 v/\lambda$. Foi usada, então, a taxa de $40 v/\lambda$, visando maior fidelidade do sinal medido. Esta da taxa de amostragem (T_a) é:

$$T_a = 40 \frac{v}{\lambda} \quad (4.3)$$

$$v_{LUZ} = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{v_{LUZ}}{f} \quad (4.4)$$

onde,

$$v_{LUZ} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 430 \text{ MHz}$$

Substituindo esses valores acima nas equações (4.3) e (4.4) e tomando a velocidade média de deslocamento do receptor v , como 1 m/s , chega-se a:

$$\lambda = \frac{v_{LUZ}}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4,3 \times 10^8} = 0,69767 \cong 0,7 \text{ m}$$

$$T_a = 40 \frac{v}{\lambda} = 40 \frac{1}{0,7} = 57,14 \cong 60 \text{ Amostras/s}$$

4.2 SETUP DE MEDIÇÃO

4.2.1. Diagrama Unifilar

Com o objetivo de analisar o comportamento do sinal faixa estreita na frequência de 430 MHz, foi montado um sistema de transmissão que possibilitou a realização de medições em diversos locais, assim pode-se verificar situações diferentes e compará-las. A Figura 19 apresenta um diagrama esquemático do sistema montado. É importante lembrar que não foram consideradas as perdas nos cabos, conectores e equipamentos utilizados. Esta atenuação pode ser vista a partir dos resultados obtidos nas medições.

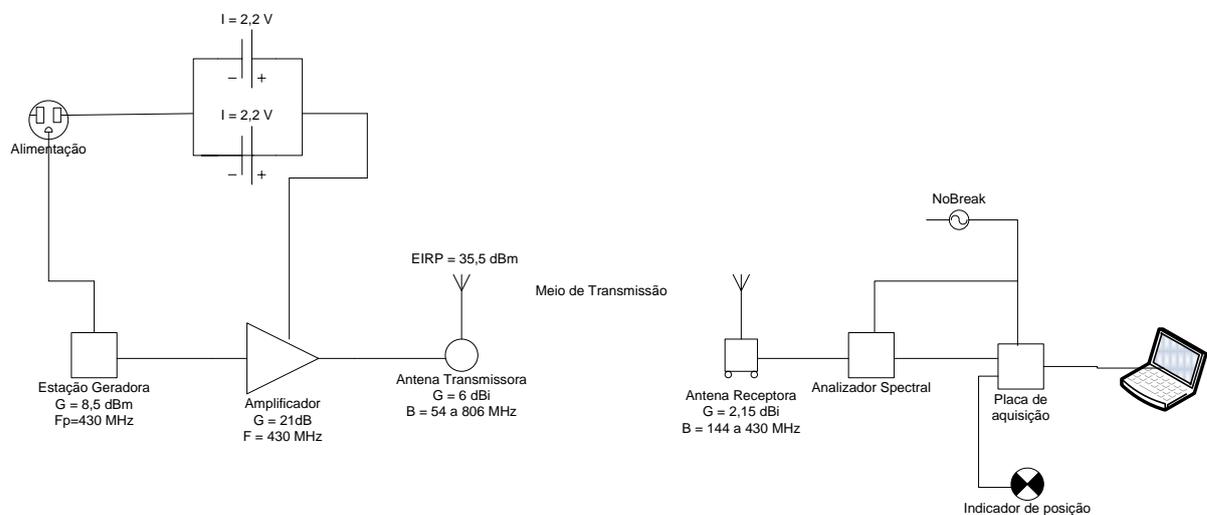


Figura 19: Diagrama unifilar do sistema de transmissão/recepção.

A Figura 20 mostra os equipamentos utilizados para geração do sinal: o gerador de radiofrequências SM300 (9 kHz - 3 GHz), da Rohde & Schwarz (a), o amplificador de potência (b) e a fonte de tensão (c). O gerador de sinal é ajustado para transmitir um tom de 430 MHz.

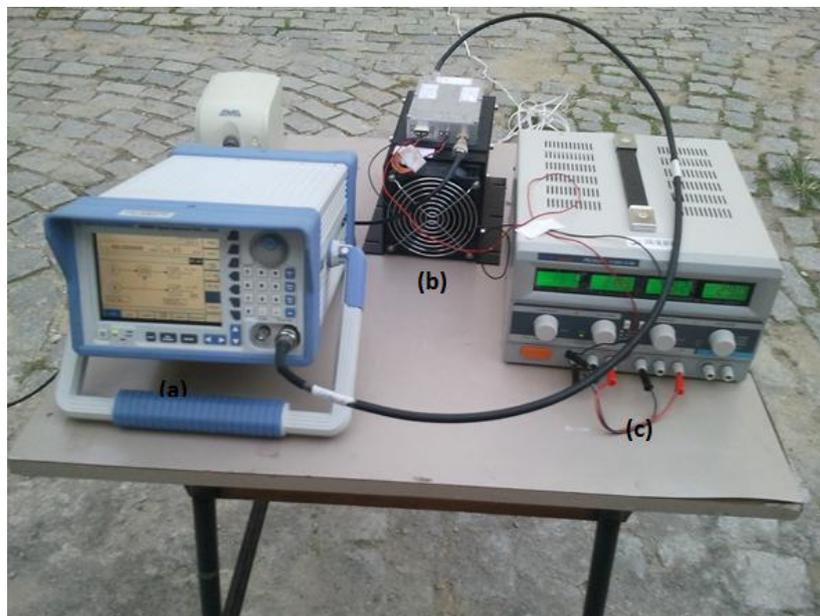


Figura 20: Sistema transmissor: (a) gerador de sinal, (b) amplificador de potência e (c) fontes em paralelo.

4.2.2 Antena Transmissora

A antena transmissora empregada era diretiva com as especificações dadas na Figura 21 e diagramas de irradiação vertical e horizontal mostrados na Figura 22.



Aquário DTV 3000

Tipo: Log Periódica

Polarização: Horizontal

Conector: F Fêmea

Ganho: 6 dBi

Banda: VHF - UHF – HDTV (54 a 806 MHz)

Impedância de entrada: 75 Ω

Material: ABS, alumínio

Peso: 1.480 g

Dimensões: 800 x 510 x 85 mm

Figura 21: Características da Antena Transmissora.

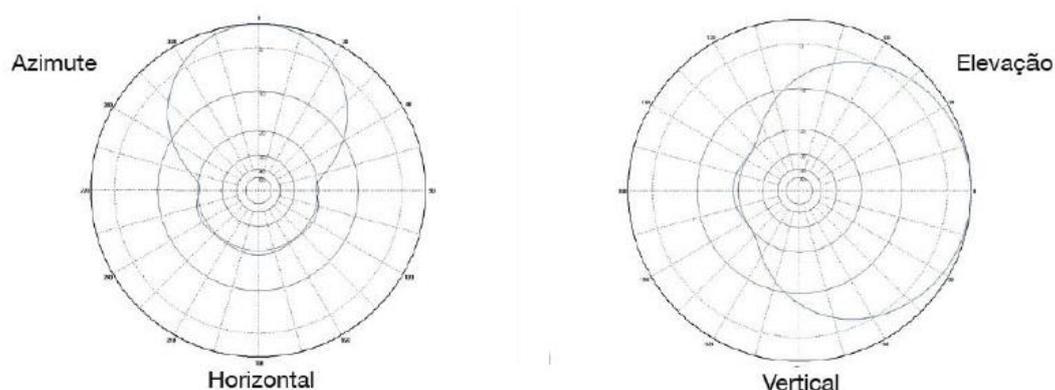


Figura 22: Diagrama de irradiação da Antena Transmissora.

No lado do receptor, o sistema apresenta a antena receptora omnidirecional e o analisador de espectro. Vale destacar, também, o sensor de posição e a placa de aquisição, além dos programas utilizados durante as aquisições e posterior processamento.

Na interface de aquisição, mostrada na Figura 23, utilizou-se os canais 2 e 3 para receber os sinais do analisador e do sensor, respectivamente, e passá-los à placa de aquisição. Esta fica inserida no *laptop* e adquire as amostras do sinal recebido pelo analisador espectral e pelo sensor de posição, à mesma taxa.



Figura 23: Interface de aquisição dos sinais.

O funcionamento do sensor de posição é bem simples. Na Figura 24 observa-se que este é formado por uma roda de bicicleta onde a metade de seus aros está coberta por fita isolante. Acoplado à estrutura que sustenta a roda há um circuito capaz de gerar saída “1” ou “0” formado pelo par diodo emissor e detector de luz, mostrado na Figura 25. Logo, à medida que a EM se desloca, há picos de tensão separados por nulos de tensão, indicando a passagem do sensor por pontos obstruídos pela fita isolante e por pontos iluminados, respectivamente. Como pode ser observado na Figura 26, os vales e picos gerados pela roda alternam-se e assim é possível calcular o ponto exato de cada amostra coletada a partir do comprimento da roda. Visto que a mesma possui 12 zonas de claro e 12 zonas de escuro e seu comprimento total é de 1,55 metros. Vale lembrar que a taxa de aquisição dos pulsos é a mesma do sinal.



Figura 24: Sensor de posição.

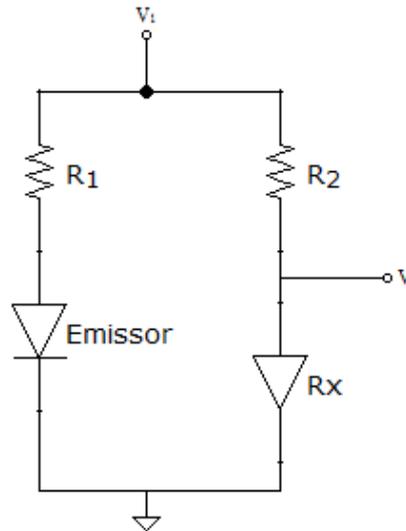


Figura 25: Circuito formado pelo diodo emissor e detector de luz.

Cada perna do circuito é mostrada de um lado da roda. Quando não há passagem de luz (parte isolante passando em frente ao emissor), a corrente no Rx é nula, pois ele fica em aberto. Nesse caso, $V \neq 0$, caso contrário, Rx conduz e $V \cong 0$.

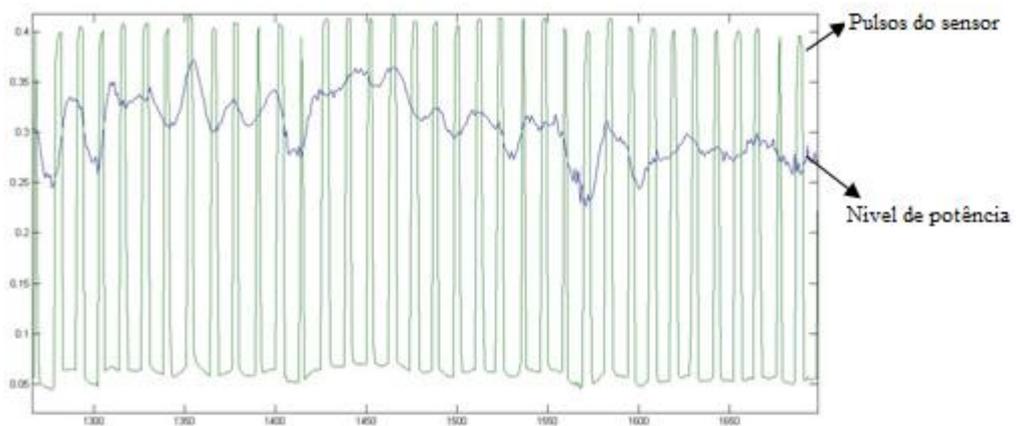


Figura 26: Tensões adquiridas pelo sensor de posição e nível de sinal medido.

4.2.3 Antena Receptora

A antena receptora empregada é omnidirecional e apresenta as especificações dadas na Figura 27.

Freqüência	144/430MHz
Potência Máxima	10W
Conector	SMA Macho
Ganho	2.15/3.0 dB
Impedância	50Ω
Peso	53g
Tamanho	39cm
Diretividade	Omnidirecional

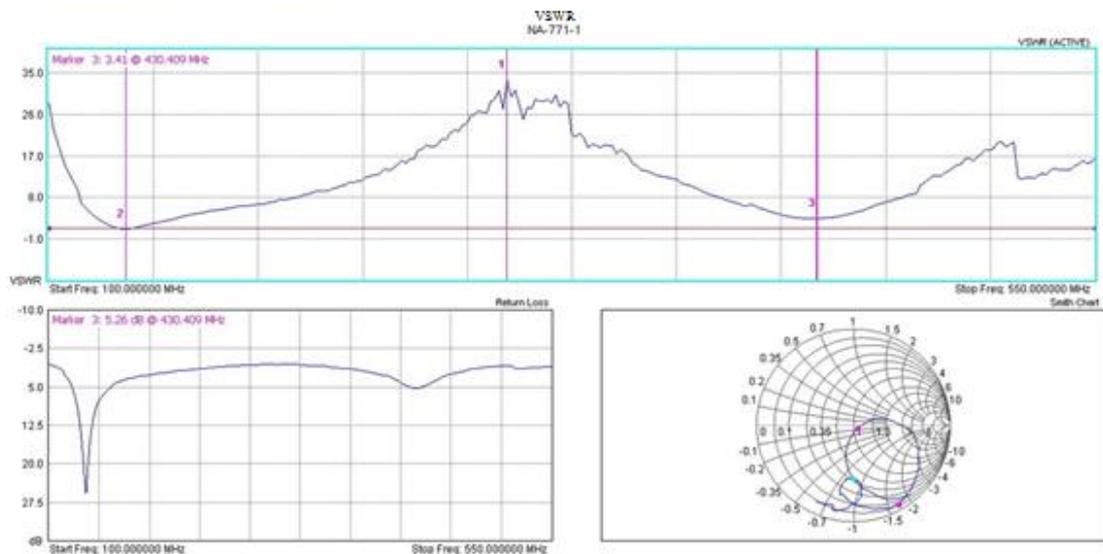


Figura 27: Características da antena e curva de taxa de onda estacionária.

4.2.4 Perfis de Medição

Para poder entender da melhor forma possível o comportamento do sinal no canal, foram medidos quatro perfis distintos, descritos a seguir:

- Perfil 1: A antena transmissora foi posicionada na parte externa do Bloco E do Campus da Praia Vermelha da UFF.

A EM se movimentou por todo o corredor do 1º andar do bloco E. Neste perfil, a EM está sempre em visada direta com a transmissora. São observados, principalmente, os multipercursos dentro do corredor e o espalhamento no ambiente externo. A Figura 28 demonstra a visada da antena transmissora.



Figura 28: Visada da antena transmissora para o Perfil 1.

- Perfil 2: Este perfil é parecido com o 1, diferindo apenas no local de recepção. Neste caso, a EM se movimenta ao longo de todo o corredor do 2º andar do Bloco E.

O fato da EM não estar na direção de máxima irradiação da antena transmissora não acarreta em grandes perdas, pois como pode ser visto na Figura 12, a potência transmitida para variados ângulos é bem próxima da potência máxima transmitida, entretanto, a polarização do campo elétrico não será vertical, mas inclinada, e como a antena receptora é vertical, a potência da componente horizontal é perdida.

- Perfil 3: Antena posicionada no 4º andar do bloco E e em visada direta com a EM, esta se movimentando por todo o corredor. A Figura 29 mostra a vista do ambiente pela antena transmissora.



Figura 29: Visada da antena transmissora.

- Perfil 4: Antena transmissora posicionada no Laboratório de Eletrônica, sem visada com a EM, está percorrendo o corredor do perfil 3, mostrado na Figura 29. A Figura 30 mostra o sistema transmissor no laboratório.



Figura 30: Situação considerando perda por parede.

Capítulo 5

5. RESULTADOS E ANÁLISE DAS MEDIÇÕES OBTIDAS

Neste capítulo, serão empregados os dois métodos (setorização e uso do filtro de média móvel) citados para a obtenção dos três principais efeitos de propagação, a partir do sinal medido: o desvanecimento em pequena escala, o sombreamento ou desvanecimento em grande escala e a perda no percurso (*Path Loss*). Com isto, é feita uma comparação entre os resultados obtidos nos dois casos. Ainda neste capítulo, serão determinadas as fdps que melhor se ajustam aos sinais de desvanecimento medidos.

5.1 SETORIZAÇÃO

Os setores foram aqui tomados como de 10λ , portanto, dentro dos limites propostos por URIE [19], uma vez que a distância percorrida é curta, o que torna reduzida a quantidade de setores. O comprimento de onda é calculado pela equação (4.4):

$$\lambda = \frac{v_{LUZ}}{f} \quad (4.4)$$

onde,

$$v_{LUZ} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 430 \text{ MHz},$$

então:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{4,3 \times 10^8} = 0,69767 \cong 0,7 \text{ m}$$

Para um setor de 10λ , tem-se:

$$\text{Setor} = 10 \lambda = 6,98 \text{ m}$$

Substituindo a velocidade da estação receptora por 1m/s, obtém-se:

$$t = \frac{S}{v} = \frac{6,98}{1} \cong 7 \text{ segundos/setor}$$

e cada setor tem duração de 7 segundos. Considerando que o tempo total do percurso foi de 100 segundos, totalizam-se 14 setores, sendo os 12 primeiros setores de 7 segundos e os 2 últimos, de 8 segundos cada.

A taxa de aquisição de dados considerada foi de 60 amostras/s, visando atender critérios discutidos no capítulo 4; então, um total de 100 segundos corresponde a 6000 amostras. Sendo a quantidade de amostras proporcional à duração do setor, tem-se 420 amostras para cada um dos doze primeiros setores e 480 amostras para os dois últimos.. A setorização descrita é feita através de um programa, executado no MATLAB.

Após a setorização do sinal, para se obter o desvanecimento em larga escala, é necessário calcular a média das 420 amostras de sinal em um setor, produzindo 14 pontos de média, que simbolizam a variação do desvanecimento lento do sinal. Deve-se, ainda, dividir cada amostra do sinal por sua correspondente média do setor (normalização) para retirar o efeito da perda com a distância e do sombreamento, obtendo-se apenas o desvanecimento rápido. Um estudo dos diferentes perfis para melhor visualização do método exposto acima é realizado nos próximos itens.

5.1.1 Perfil 1

A Figura 31 mostra o nível de sinal recebido com a distância e pode ser observado que no final do percurso apenas ruído é capturado pela antena receptora, portanto, ao invés de se considerar 14 setores (todas as amostras), serão considerados os 13 primeiros setores, ou seja, serão desprezadas as últimas 480 amostras.

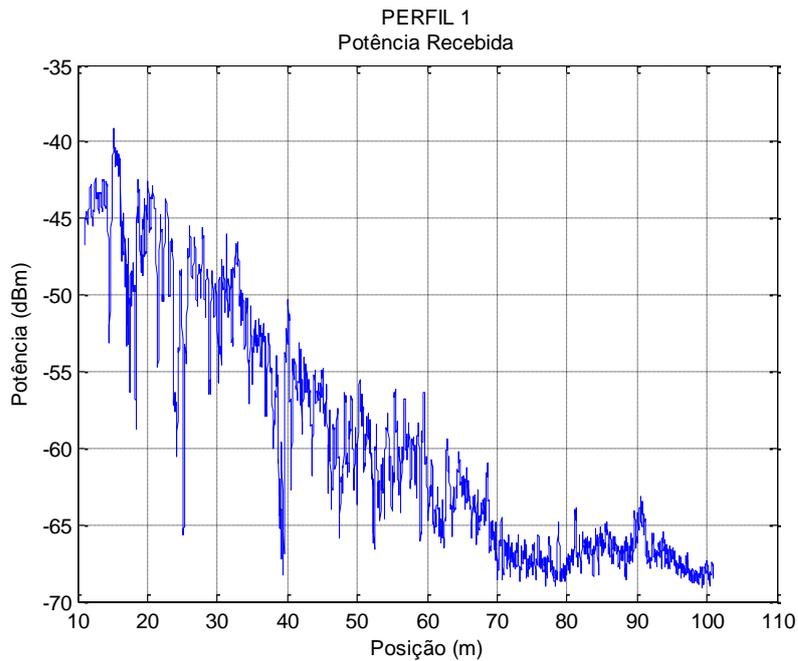


Figura 31: Variação do nível de sinal recebido com a distância.

Tomando-se os 13 setores, tira-se a média em cada setor e a Figura 32 mostra tais médias assinaladas por pontos no sinal medido. Já o desvanecimento em pequena escala é representado pela tensão, normalizada pela média de cada setor, mostrado na Figura 33, onde o efeito de perda com a distância foi extraído.

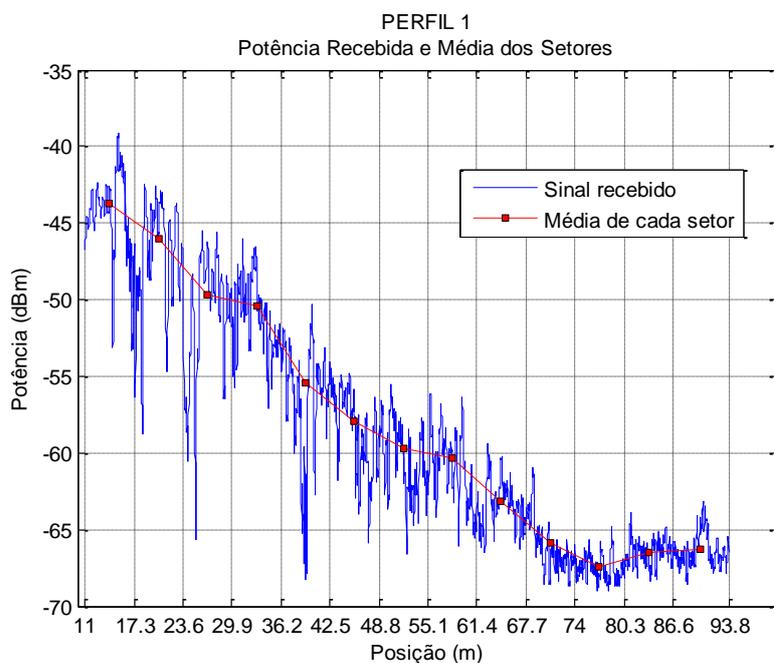


Figura 32: Potência recebida e média dos setores.

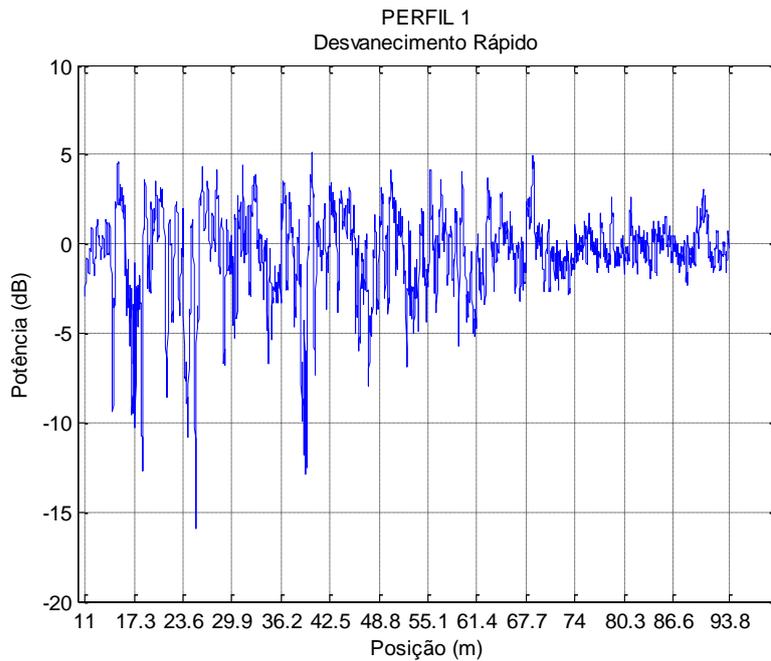


Figura 33: Desvanecimento rápido.

Conforme visto no capítulo 2, quando a distância se acha em escala logarítmica, a potência recebida, em dBm, cai linearmente com tal distância ($P \propto (\log d)$), em metros, tomando-se a referência como 1 m no caso deste trabalho, em ambiente interno. Para se determinar o efeito de perda com a distância, é necessário traçar uma reta de ajuste aos pontos da média de cada setor, aqui realizada pelo Método dos Mínimos Quadrados, conforme pode ser observado na Figura 34.

$$P_r(d) = P_0(d_0) - 10n \log(d) \quad (2.1)$$

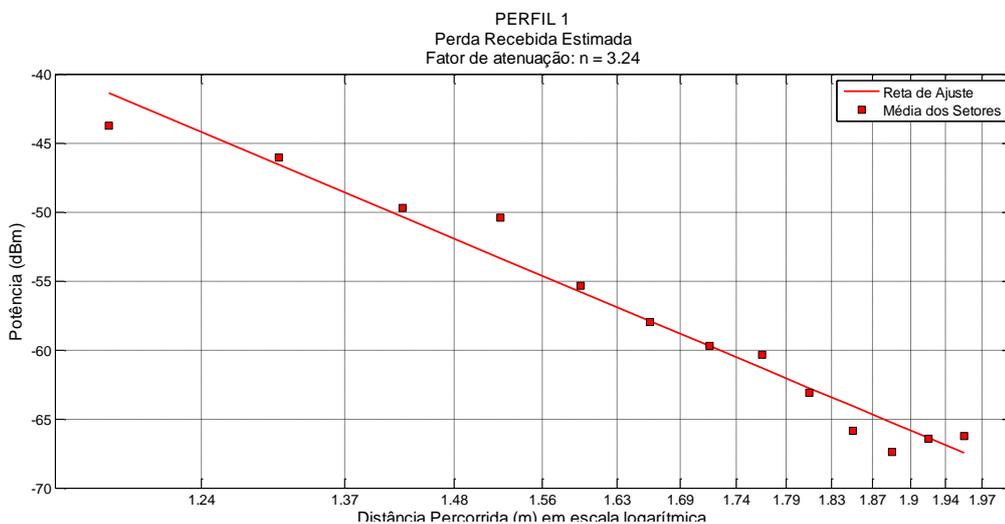


Figura 34: Reta de ajuste para o sombreamento.

Para o coeficiente de atenuação com a distância, determinado a partir da inclinação da reta na Figura 34, calcula-se $n = 3,24$ e a equação da reta da Figura 34 é dada pela equação (5.1).

$$P_r = -4,11 - 10 * 3,24 * \log(d) \quad (5.1)$$

Ao se passar a reta de ajuste para a escala linear, obtém-se o efeito de perda com a distância, que está representado pela curva em vermelho na Figura 35.

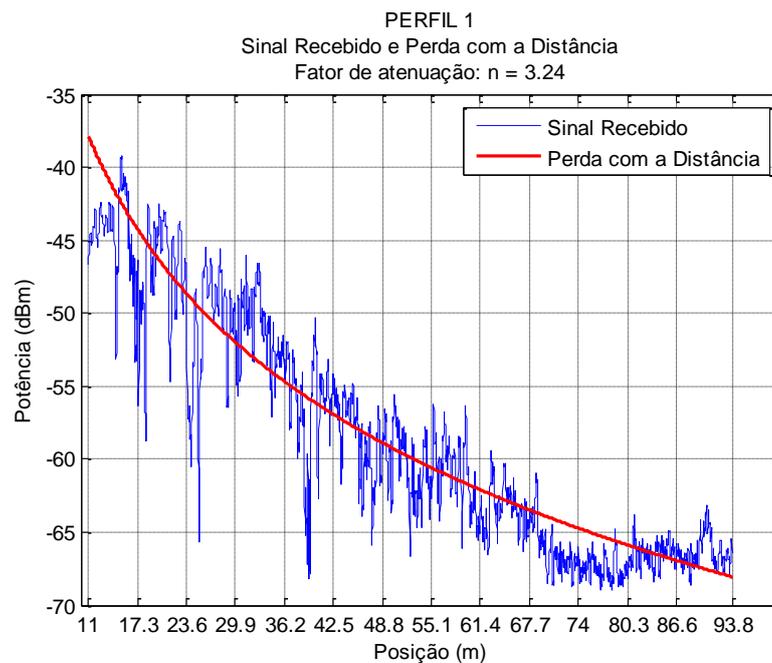


Figura 35: Níveis de sinal recebido e perda com a distância.

5.1.2 Perfil 2

Para o perfil 2, a Figura 36 mostra o nível de sinal recebido versus a distância. Observa-se que grande parte do sinal é composto por ruído, então, serão considerados apenas 5 setores.

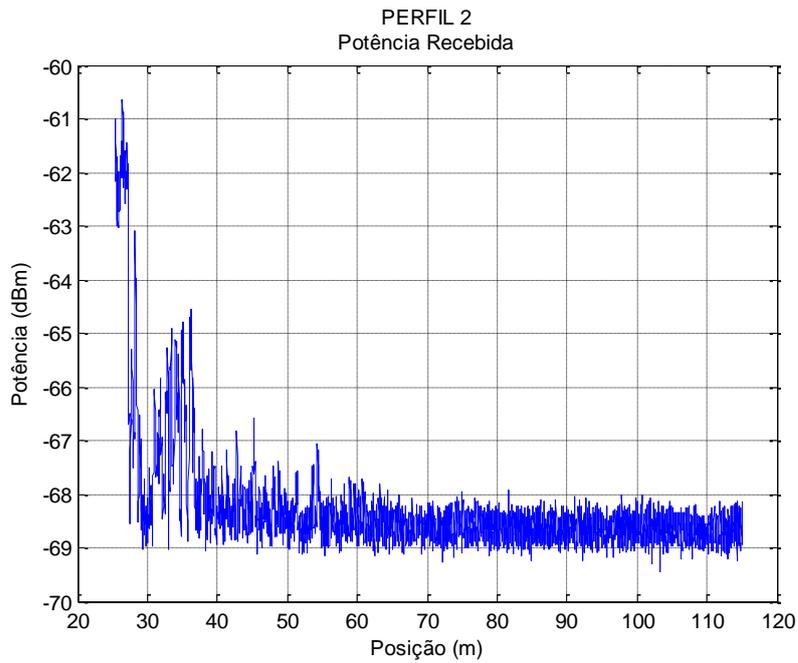


Figura 36: Potência recebida.

Com o sinal dividido em 5 setores, é calculada a média em cada setor, sendo assinalada por pontos mostrados na Figura 37. O desvanecimento em pequena escala é representado pela tensão, normalizada pela média de cada setor, na Figura 38, onde o efeito de perda com a distância foi extraído.

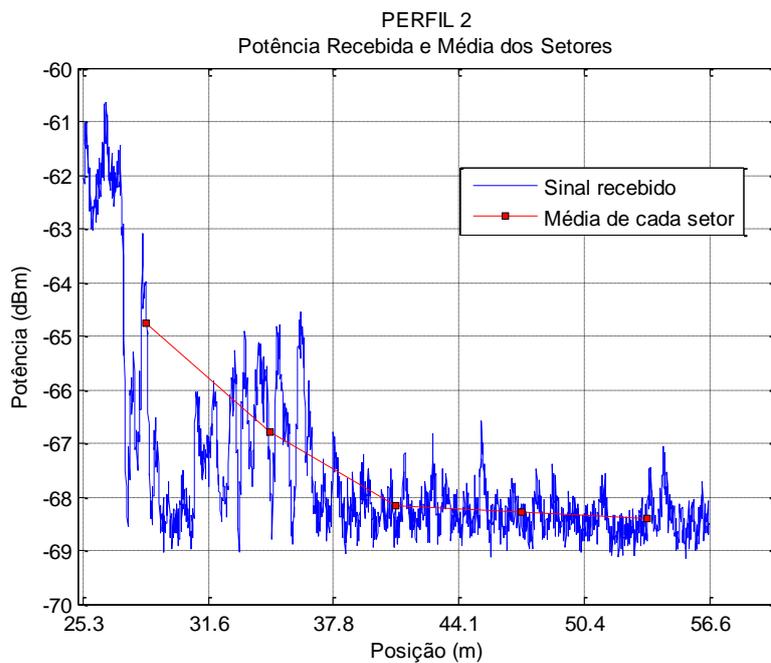


Figura 37: Potência recebida e média dos setores.

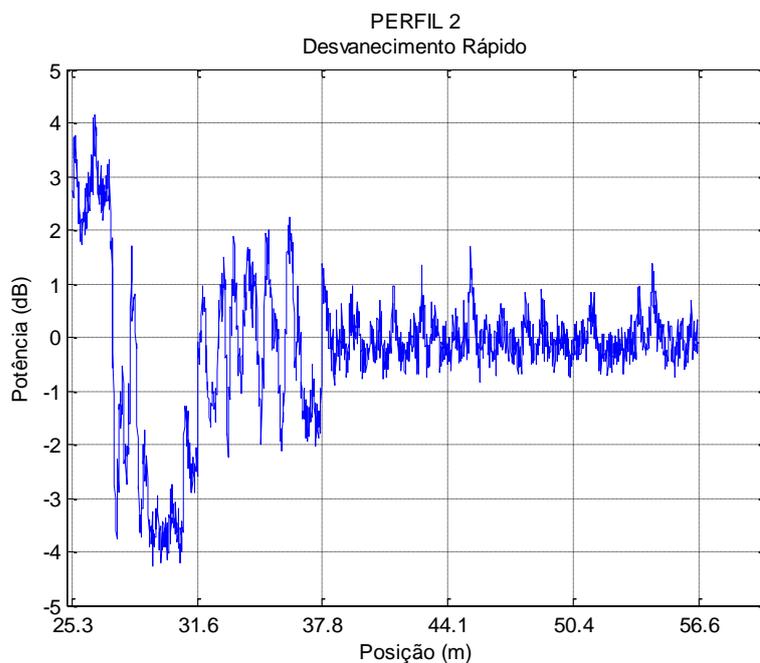


Figura 38: Desvanecimento rápido.

A reta de ajuste, calculada pelo Método dos Mínimos Quadrados, com os pontos da média de cada setor, pode ser observada na Figura 39.

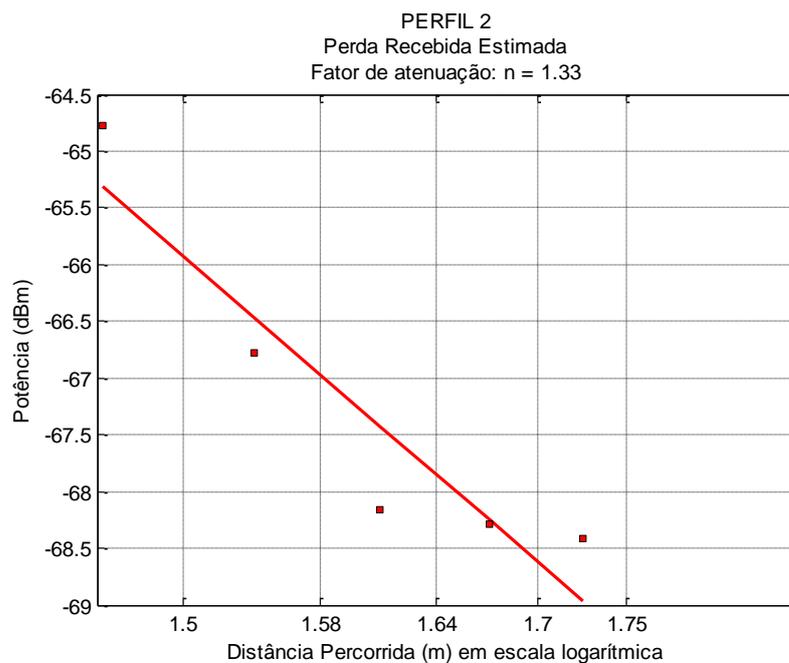


Figura 39: Nível de potência recebida estimada.

O coeficiente de atenuação com a distância, obtido a partir da inclinação da reta de ajuste é $n = 1,33$. Com isto, a equação da reta da Figura 39 é dada pela equação (5.2).

$$P_r = -45,96 - 10 * 1,33 * \log(d) \quad (5.2)$$

O gráfico da reta de ajuste em escala linear está representado pela curva em vermelho na Figura 40.

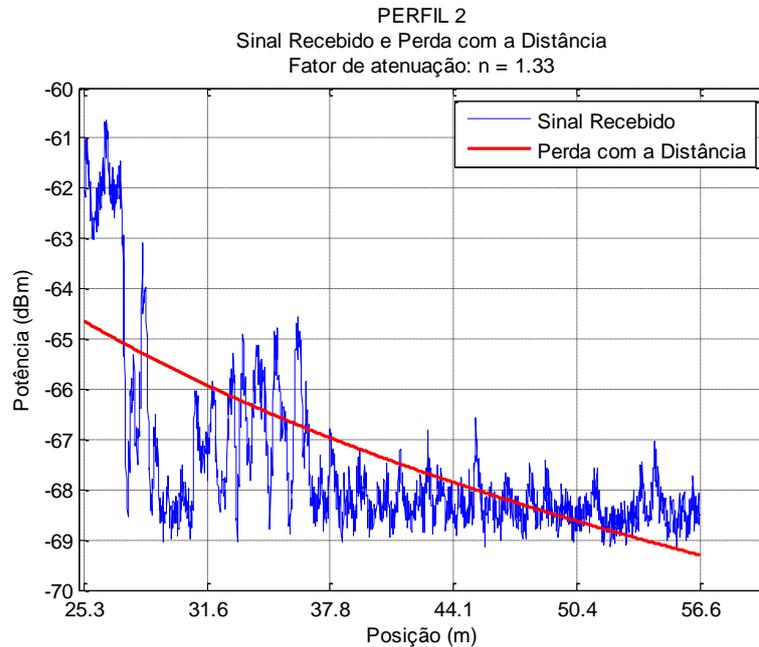


Figura 40: Sinal recebido e perda com a distância.

5.1.3 Perfil 3

Para o perfil 3 foram considerados 14 setores. Neste perfil, nenhuma amostra foi descartada visto que a antena estava em visada e que o nível de sinal até o final do percurso está acima do nível de ruído do sistema de recepção. A Figura 41 mostra o nível de sinal recebido versus distância.

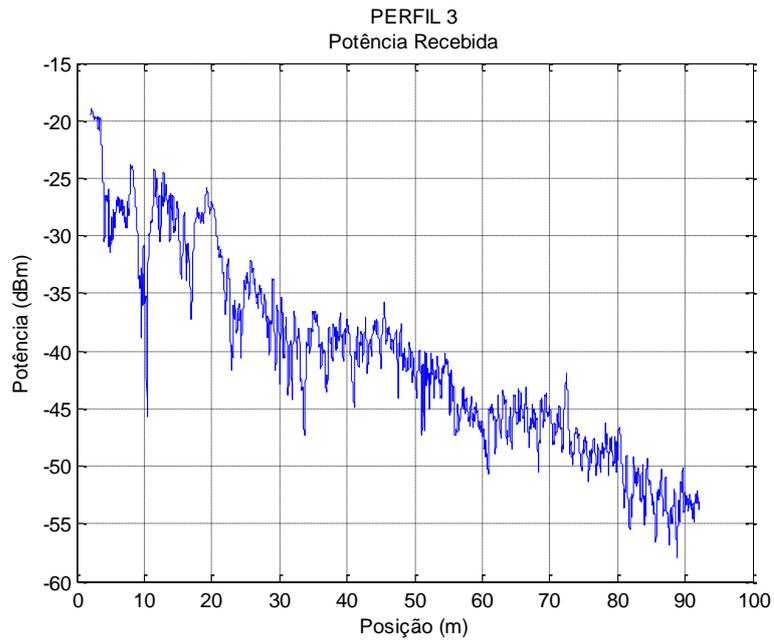


Figura 41: Potência recebida.

A média é calculada nos 14 setores, sendo marcada por pontos mostrados na Figura 42. O desvanecimento em pequena escala é representado, na Figura 43, onde foi retirado o efeito de perda com a distância.

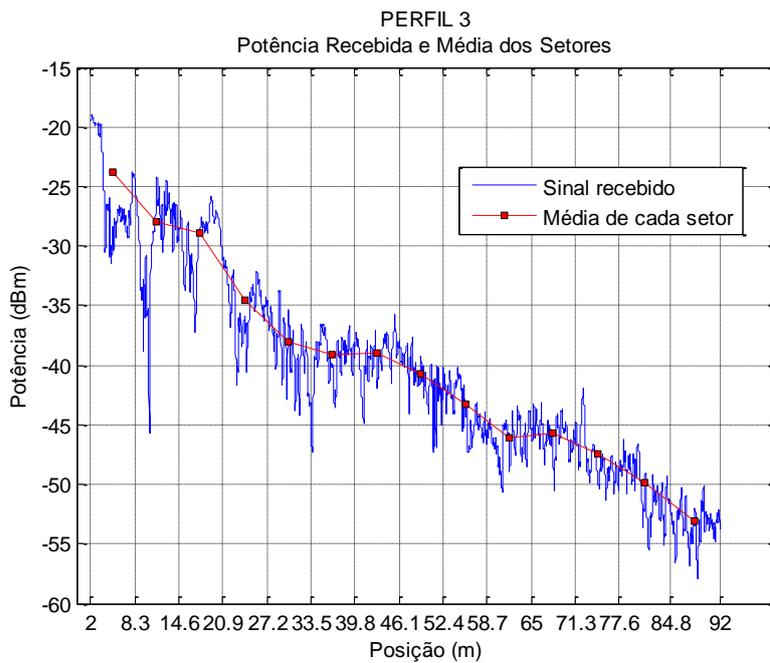


Figura 42: Potência recebida e média dos setores.

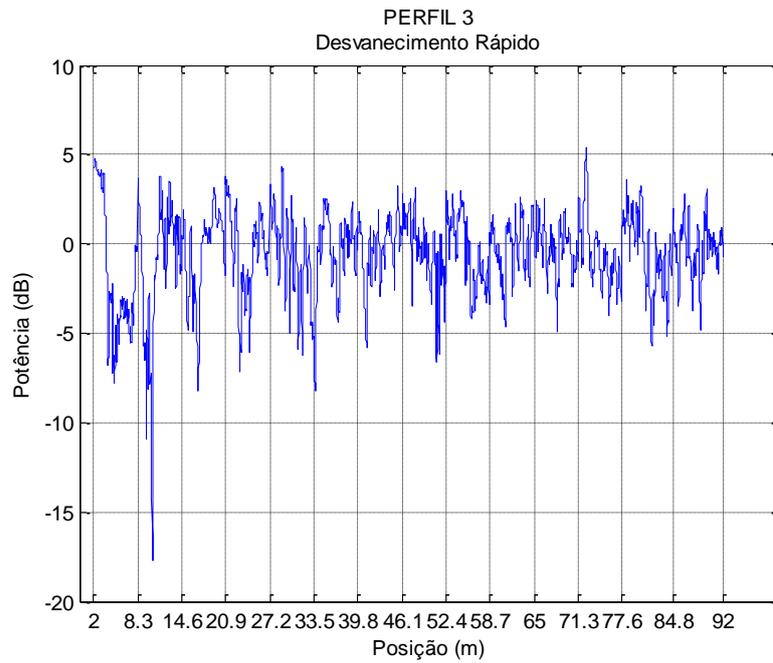


Figura 43: Desvanecimento rápido.

A reta de ajuste, calculada pelo Método dos Mínimos Quadrados, com os pontos da média de cada setor, pode ser observada na Figura 44.

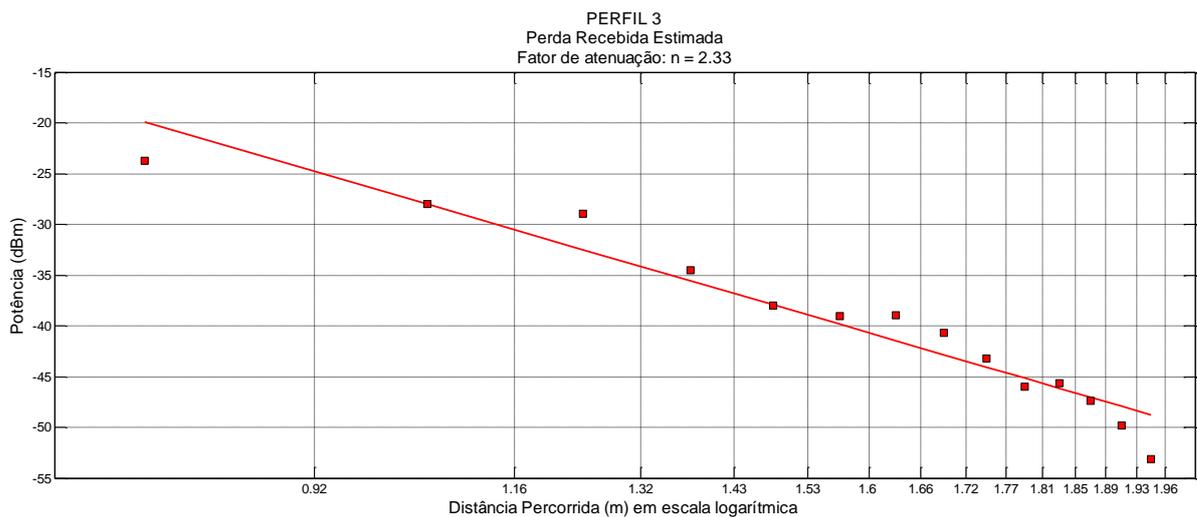


Figura 44: Perda recebida estimada.

O coeficiente de atenuação com a distância, obtido a partir da inclinação da reta de ajuste, é $n = 2,33$. Para tal, a equação da reta da Figura 44 é dada pela equação (5.3).

$$P_r = -3,34 - 10 * 2,33 * \log(d) \quad (5.3)$$

O efeito da perda com a distância está representado pela curva em vermelho na Figura 45.

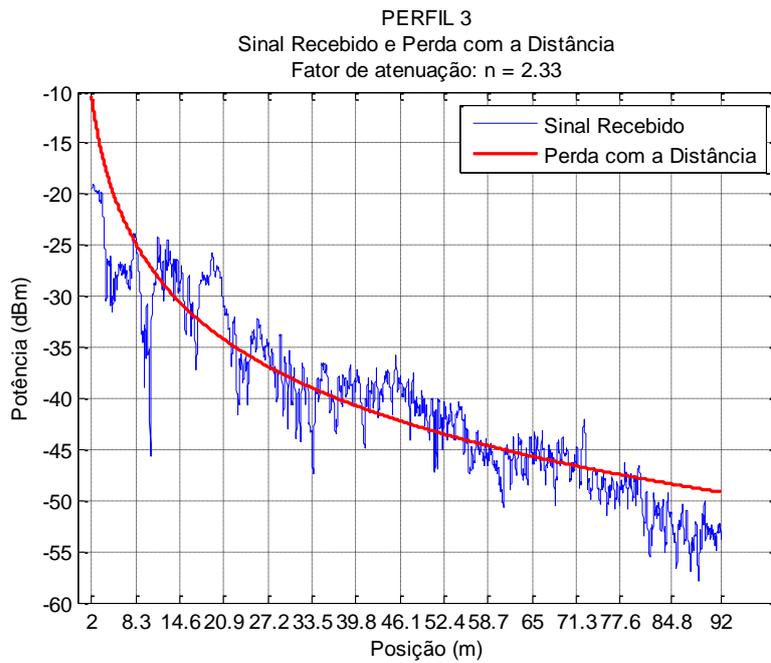


Figura 45: Sinal recebido e perda com a distância.

5.1.4 Perfil 4

Para o perfil 4, a Figura 46 mostra o gráfico da variação do nível de sinal com a distância, num total de 11 setores tomados.

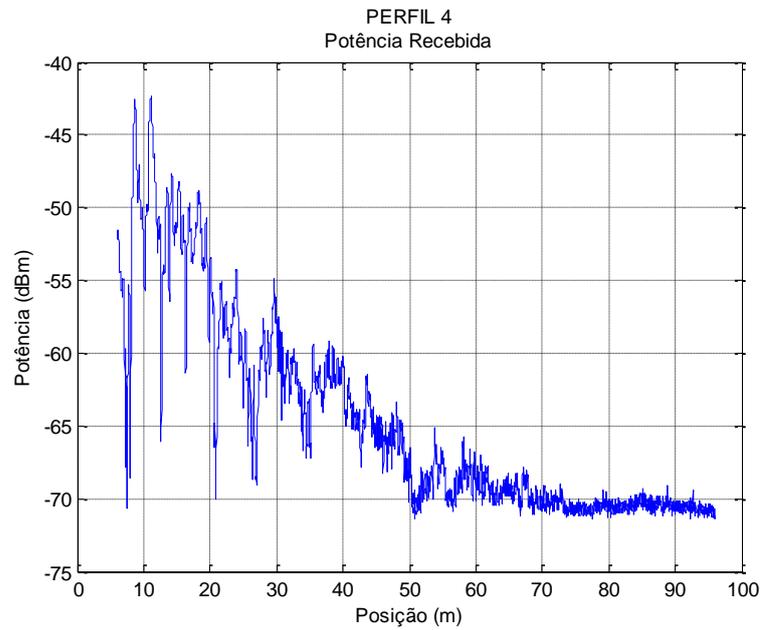


Figura 46: Potência recebida.

Com o sinal dividido em 11 setores, foi calculada a média em cada setor, sendo assinalada por pontos na Figura 47. O desvanecimento em pequena escala é representado na Figura 48, onde foi retirado o efeito de perda com a distância.

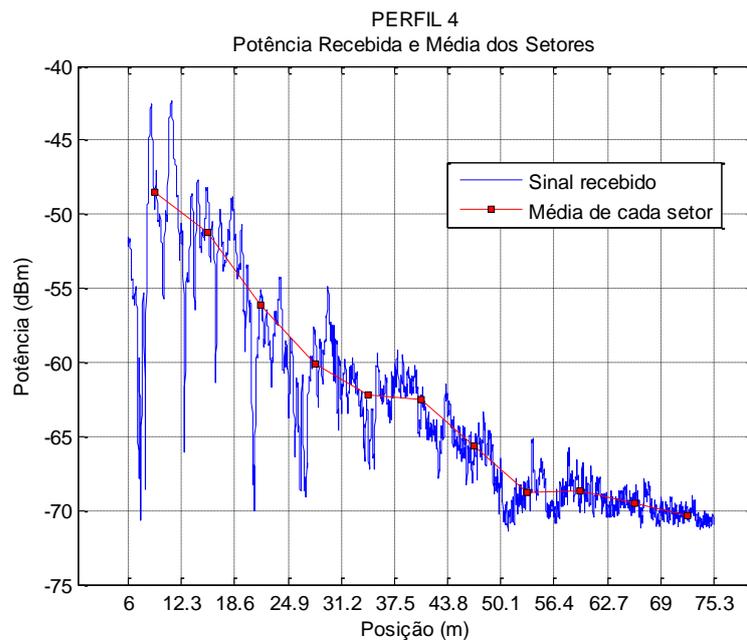


Figura 47: Potência recebida e média dos setores.

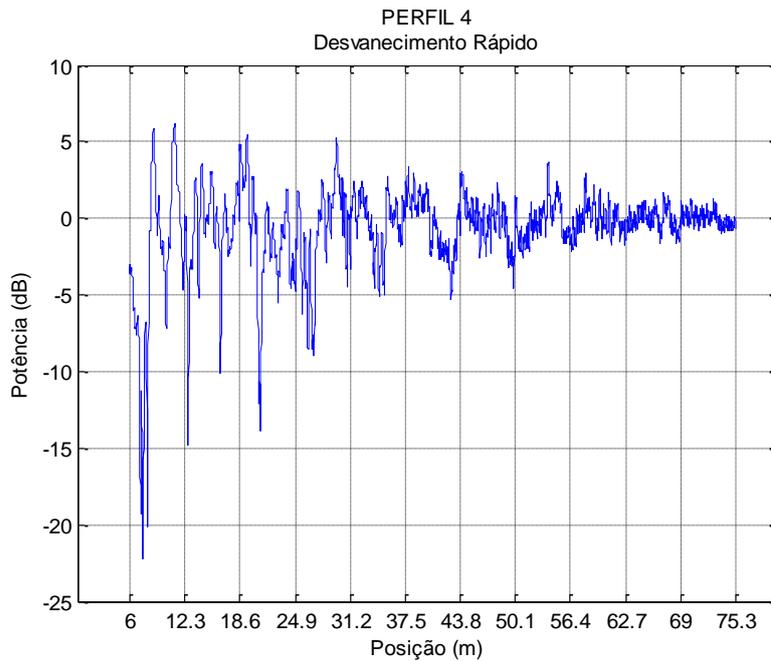


Figura 48: Desvanecimento rápido.

A reta de ajuste, calculada pelo Método dos Mínimos Quadrados, com os pontos da média de cada setor, pode ser vista na Figura 49.

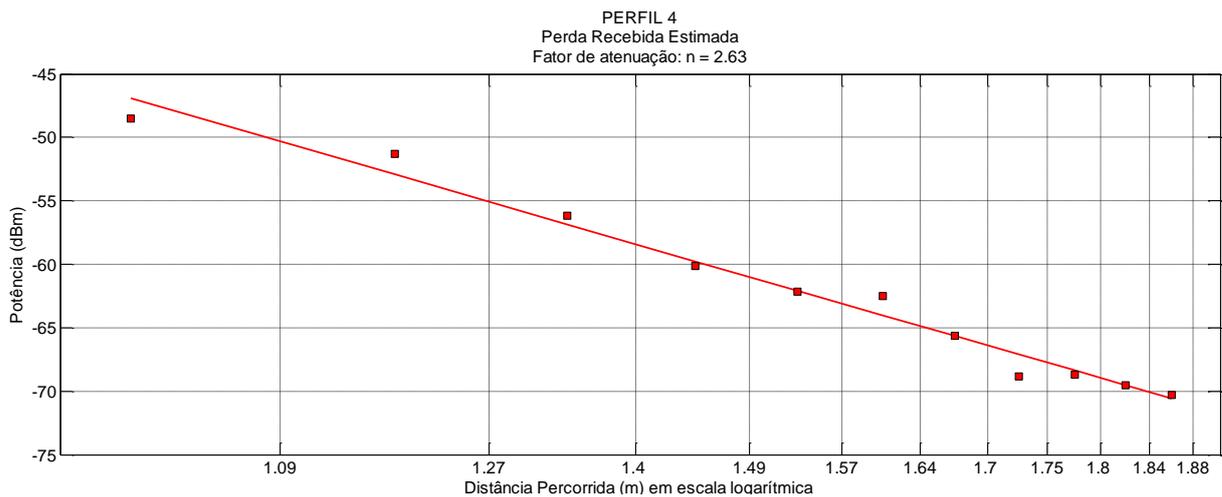


Figura 49: Perda recebida estimada.

O coeficiente de atenuação com a distância, obtido a partir da inclinação da reta de ajuste é $n = 2,63$, logo, a equação da reta da Figura 49 é dada pela equação (5.4).

$$P_r = -21,62 - 10 * 2,63 * \log(d) \quad (5.4)$$

O gráfico da reta de ajuste em escala linear é representado pela curva em vermelho na Figura 50.

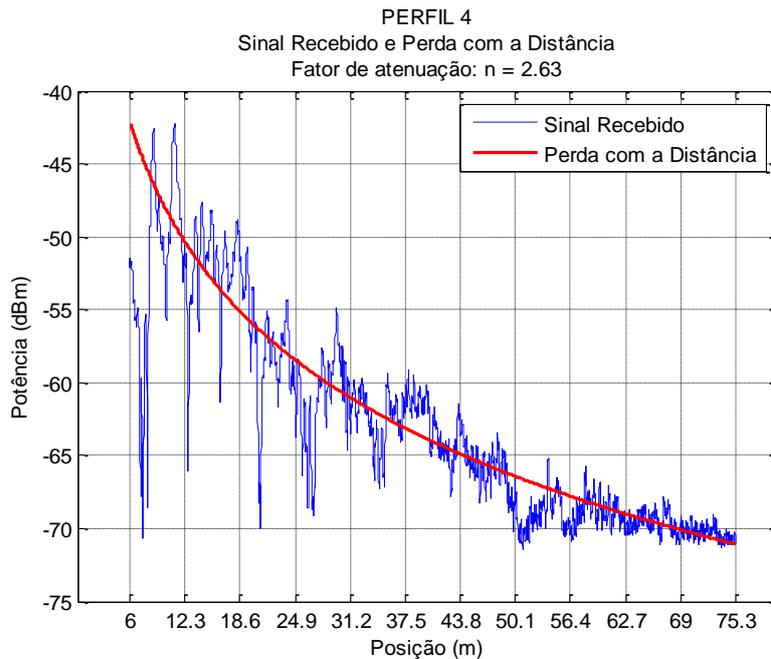


Figura 50: Sinal recebido e perda com a distância.

5.2 FILTRO DE MÉDIA MÓVEL (FMM)

Como já citado no item 2.3, o filtro de média móvel é empregado duas vezes de forma a se separar as componentes de desvanecimento de longo e curto prazo e a perda no percurso. Nos itens seguintes, esta técnica é empregada em cada perfil medido.

5.2.1 Perfil 1

No intuito de obter um sinal pelo FMM que se aproxime do sinal obtido pela setorização, é necessário uma janela grande para que se possa minimizar a variabilidade do sinal, portanto, para o perfil 1, foram usados os tamanhos de 420 e 210 para a primeira e segunda janelas respectivamente.

Na Figura 51 é feita uma comparação entre o sinal de saída do FMM1 (S+P), para o tamanho da primeira janela de 420, que representa o sombreado mais a perda com a distância, e a setorização com os mesmos dois efeitos.

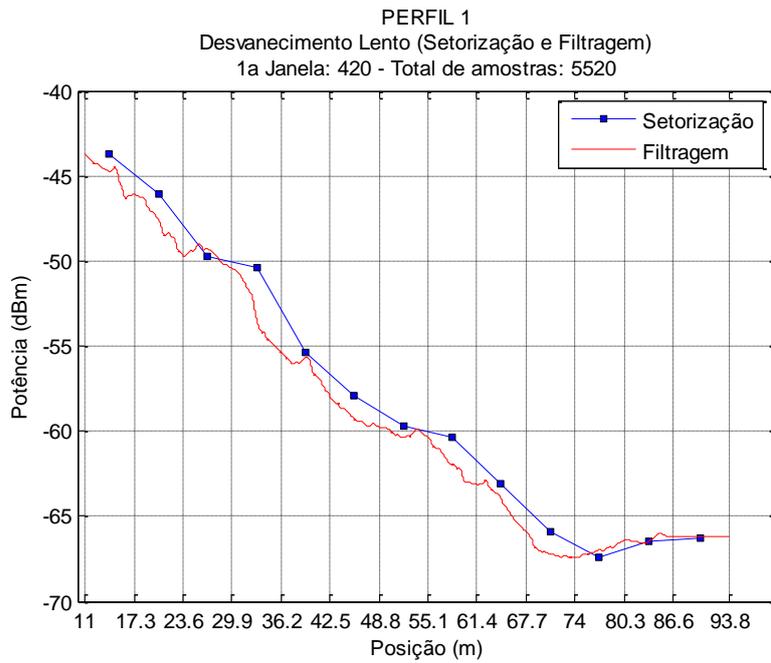


Figura 51: Sombreamento e perda com a distância.

Na Figura 52 é mostrado apenas o sinal de desvanecimento rápido obtido pelo método da filtragem e pelo método da setorização.

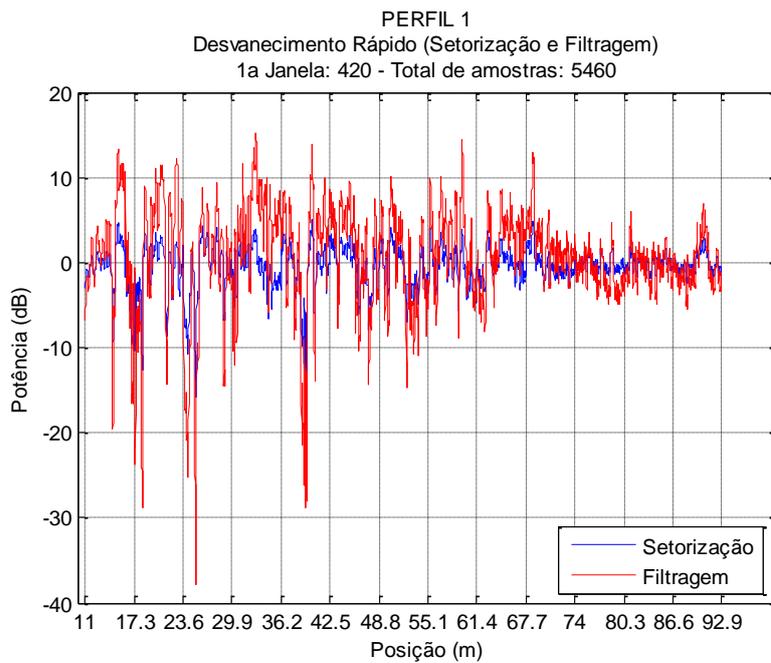


Figura 52: Desvanecimento rápido.

Na Figura 53 é mostrado o sinal apenas com o efeito da perda no percurso obtido pelos dois diferentes métodos, com a primeira e segunda janela de tamanhos 420 e 210, respectivamente.

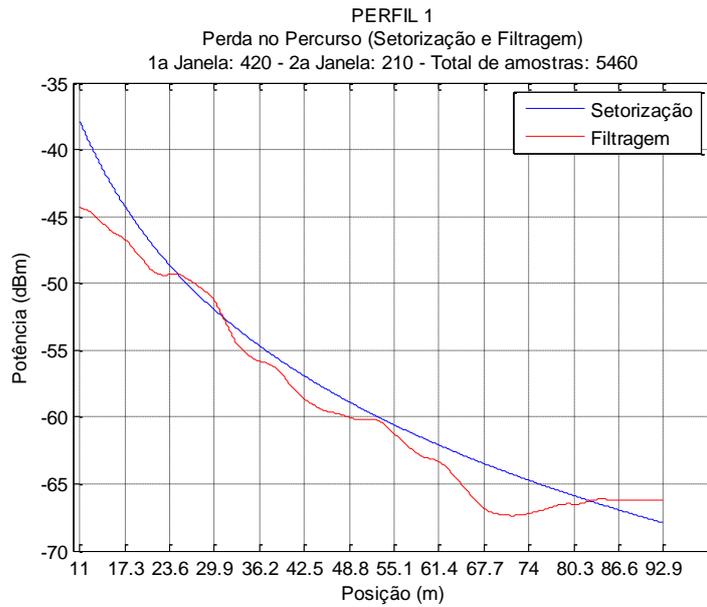


Figura 53: Perda com a distância.

5.2.2 Perfil 2

Para o perfil 2 foi usado o tamanho de 210 para as duas janelas. Na Figura 54 é feita uma comparação entre o sinal de saída do FMM1 (S+P), para o tamanho da primeira janela de 210, que representa o sombreamento mais a perda com a distância, e a setorização com os mesmos dois efeitos.

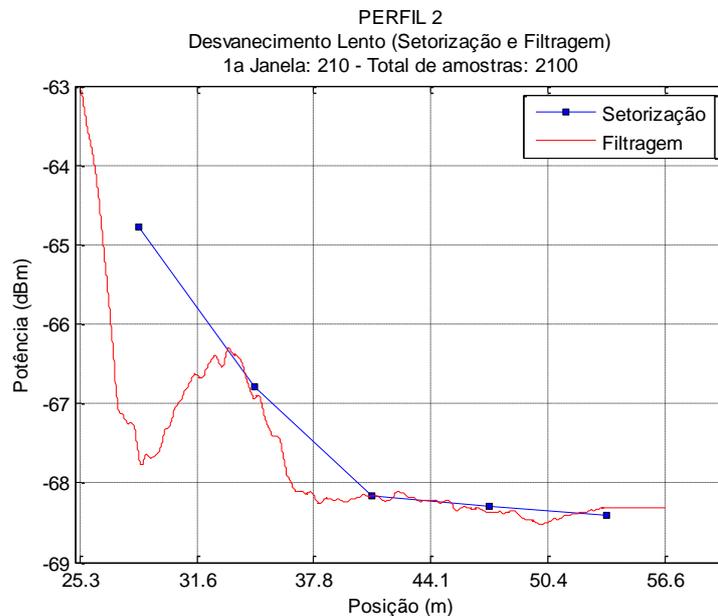


Figura 54: Sombreamento e perda com a distância.

Na Figura 55 é mostrado apenas o sinal de desvanecimento rápido obtido pelo método da filtragem e pelo método da setorização.

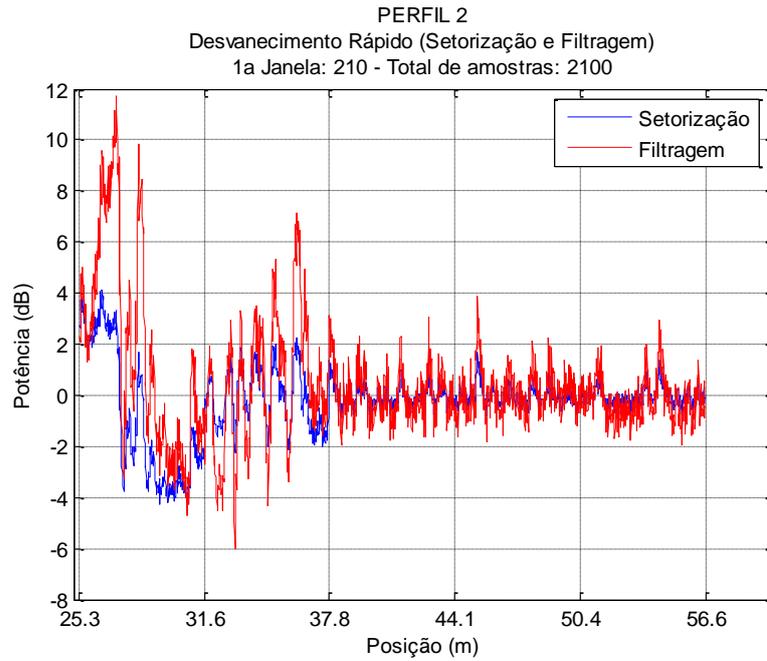


Figura 55: Desvanecimento rápido.

Na Figura 56 é mostrado o sinal apenas com o efeito da perda no percurso obtida pelos dois diferentes métodos, com a primeira e segunda janela de tamanhos 210.

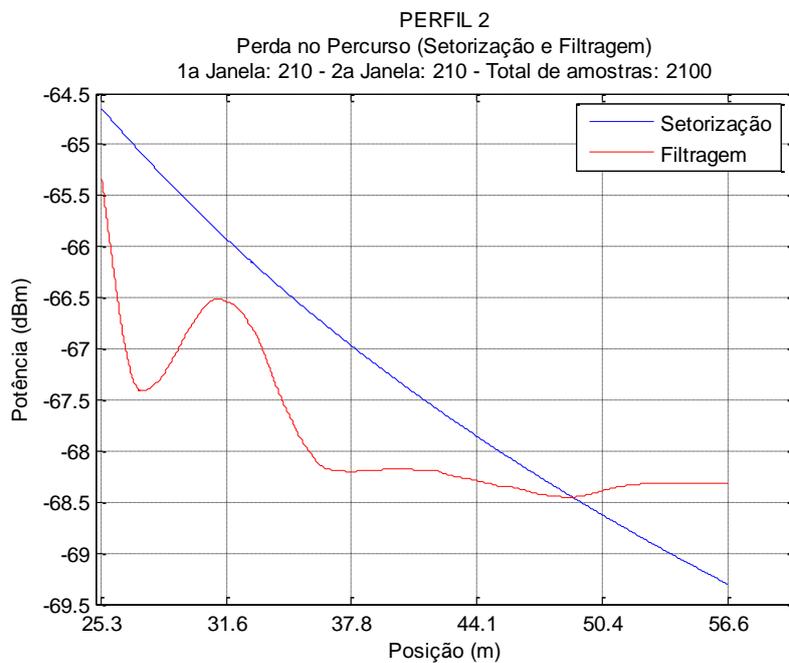


Figura 56: Perda com a distância.

5.2.3 Perfil 3

Para o perfil 3 foram usados os tamanhos de 420 e 210 para a primeira e segunda janelas, respectivamente. Na Figura 57 é feita uma comparação entre o sinal de saída do FMM1 (S+P), para o tamanho da primeira janela de 420, que representa o sombreamento mais a perda com a distância, e a setorização com os mesmos dois efeitos.

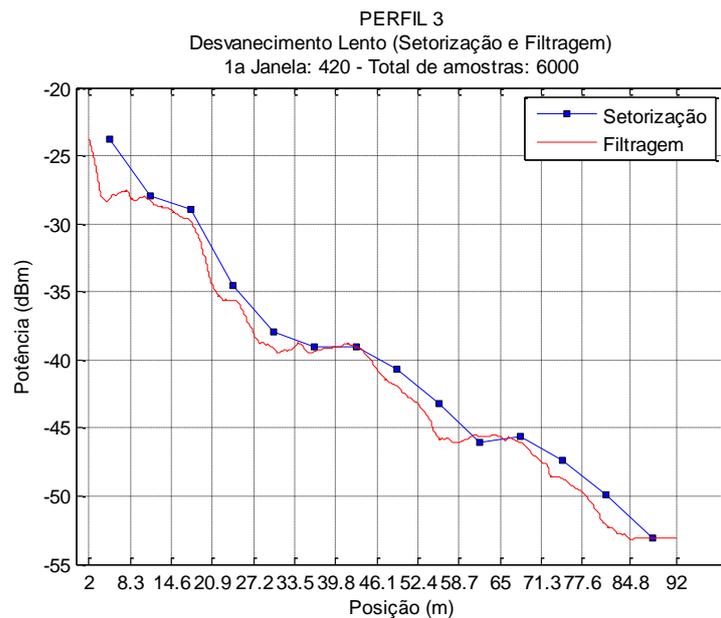


Figura 57: Sombreamento e perda com a distância.

Na Figura 58 é mostrado apenas o sinal de desvanecimento rápido obtido pelo método da filtragem e pelo método da setorização.

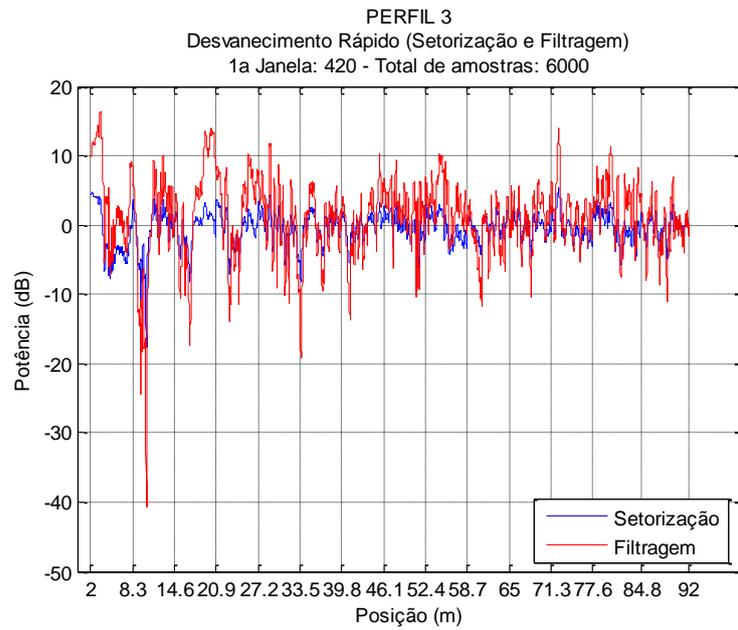


Figura 58: Desvanecimento rápido.

Na Figura 59 é mostrado o sinal com o efeito da perda no percurso apenas, obtido pelos dois diferentes métodos, com a primeira e segunda janela de tamanhos 420 e 210, respectivamente.

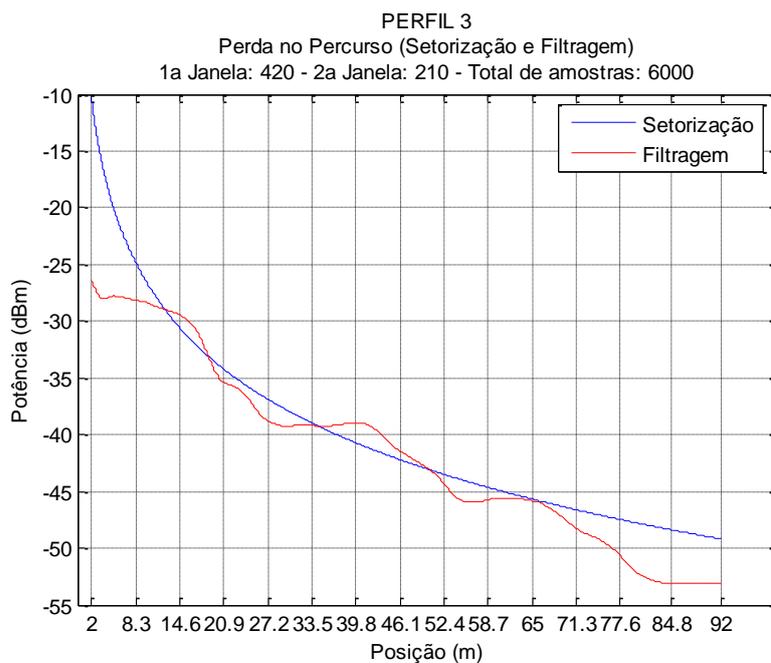


Figura 59: Perda com a distância.

5.2.4 Perfil 4

No perfil 4 foram usados os tamanhos de 420 e 210 para a primeira e segunda janelas, respectivamente. Na Figura 60 é feita uma comparação entre o sinal de saída do FMM1 (S+P), para o tamanho da primeira janela de 420, que representa o sombreamento mais a perda com a distância, e a setorização com os mesmos dois efeitos.

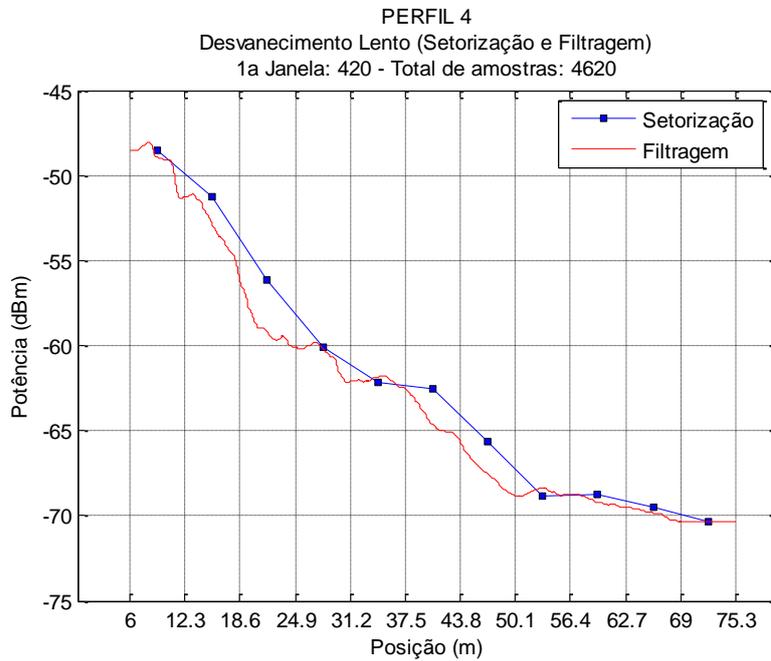


Figura 60: Sombreamento e perda com a distância.

Na Figura 61 é mostrado apenas o sinal de desvanecimento rápido obtido pelo método da filtragem e pelo método da setorização.

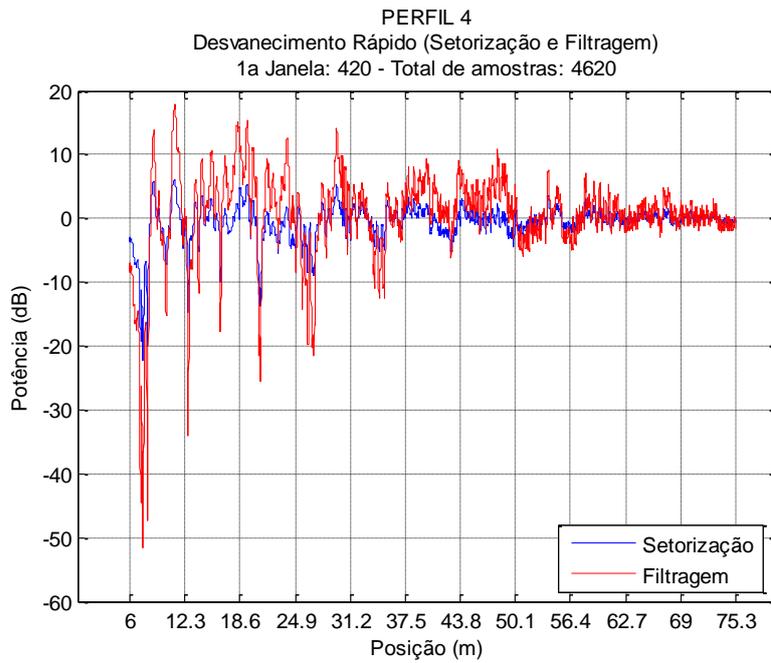


Figura 61: Desvanecimento rápido.

Na Figura 62 é mostrado o sinal apenas com o efeito da perda no percurso, obtido pelos dois diferentes métodos, com a primeira e segunda janela de tamanhos 420 e 210, respectivamente.

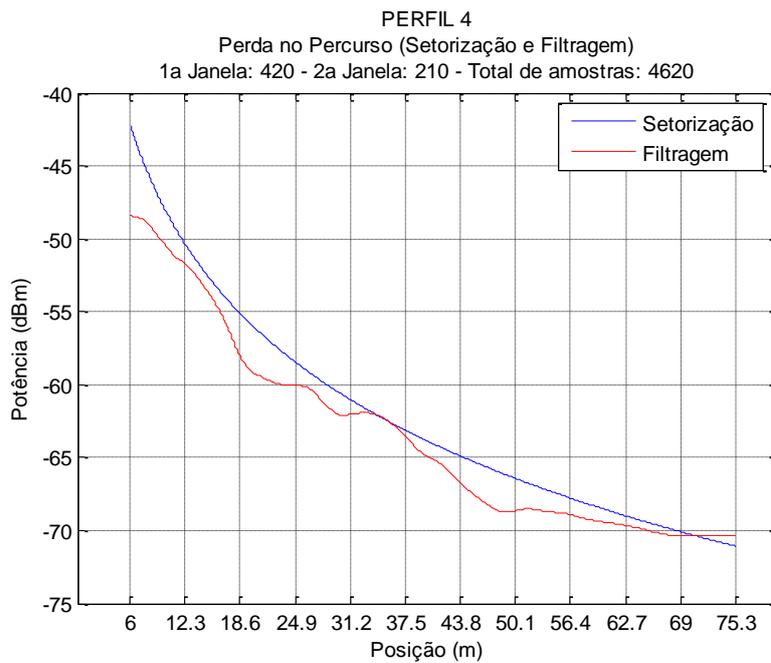


Figura 62: Perda com a distância.

5.3 ESTATÍSTICA DO DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA

A partir do sinal de desvanecimento em pequena escala, extraído do sinal medido através do método da setorização e do método do filtro de média móvel, são obtidas as distribuições estatísticas da tensão normalizada pelas duas técnicas. Antes, porém, o desvanecimento em pequena escala obtido pelo FMM necessita ser dividido (setorizado) para que se possa fazer uma comparação da distribuição estatística setor a setor com o sinal de desvanecimento em pequena escala obtido pela setorização. Essa distribuição estatística é obtida através do MATLAB pela função *ksdensity* presente no programa “media_movente”.

Buscando-se verificar que tamanho de janela “ J ” do filtro de média móvel deveria ser usado para que as duas densidades de probabilidade (da setorização e do FMM) se aproximassem o máximo possível, dando menor diferença, no total, entre as curvas de um perfil, foi utilizada, primeiramente, a métrica L^1 [36], que representa a diferença entre as curvas de um setor, de uma determinada janela, representada pela equação (5.6):

$$D_i = \int |f dp(x)_{SETORIZAÇÃO} - f dp(x)_{FMM}| dx \quad (5.6)$$

Ao fazer o cálculo da diferença para cada setor, através de D_i , é necessário somar essas diferenças ($D_1 + D_2 + D_3 \dots D_n$), referentes a cada setor, para se obter S , que representa o somatório das diferenças dos setores de um perfil, para um determinado tamanho de janela. O tamanho da janela é escolhido ao ser obtido o menor valor de D , que é representado pela equação (5.7).

$$S = \sum_{i=1}^{i=n} D_i \quad (5.7)$$

Os itens seguintes fornecem as densidades de probabilidade para cada setor do perfil, baseadas no tamanho da janela necessário para fornecer o menor valor de S .

5.3.1 Perfil 1

Neste caso, a janela ótima que faz com que a diferença entre as curvas de densidades de probabilidade obtidas pela setorização e pelo filtro de média móvel seja mínima, é a janela de tamanho igual a 12 amostras, como se pode observar da Figura 63, no ponto de mínimo da curva.

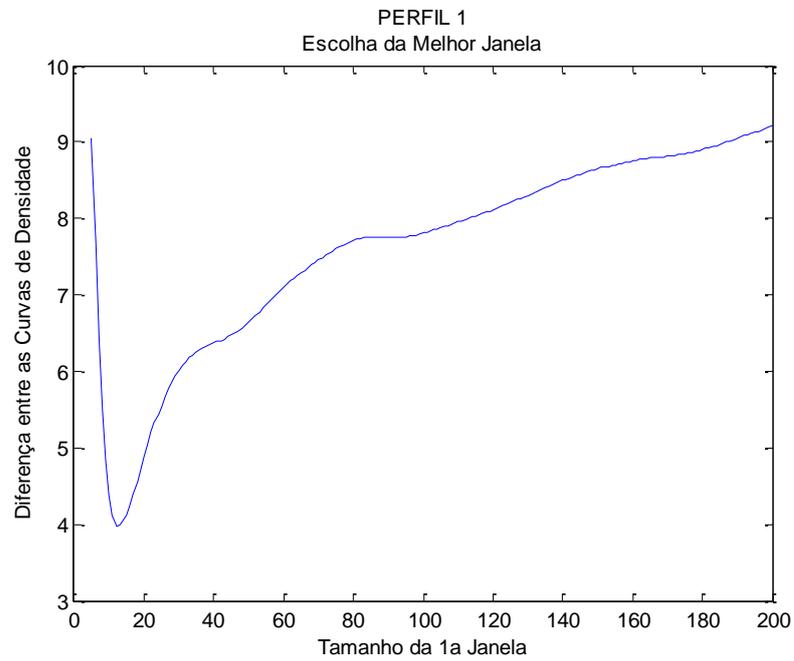
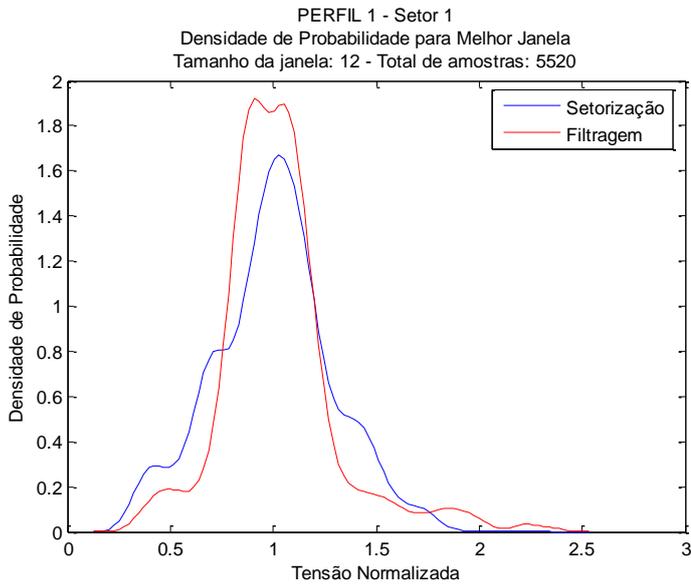
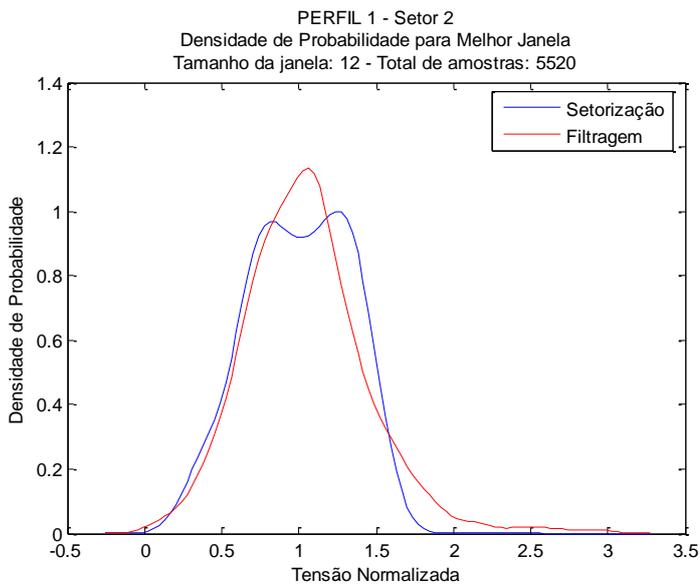


Figura 63: Diferença entre as curvas de densidade.

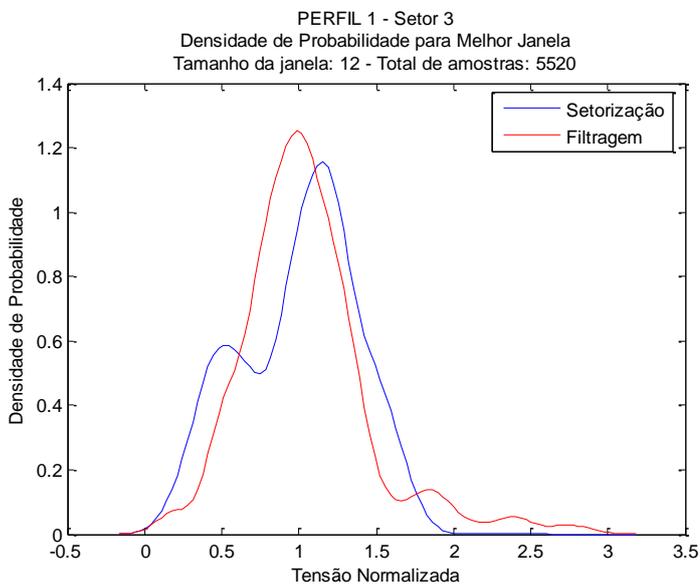
Na Figura 64, da letra (a) até a letra (m) estão os gráficos dos 13 setores com suas respectivas densidades de probabilidade para a melhor janela.



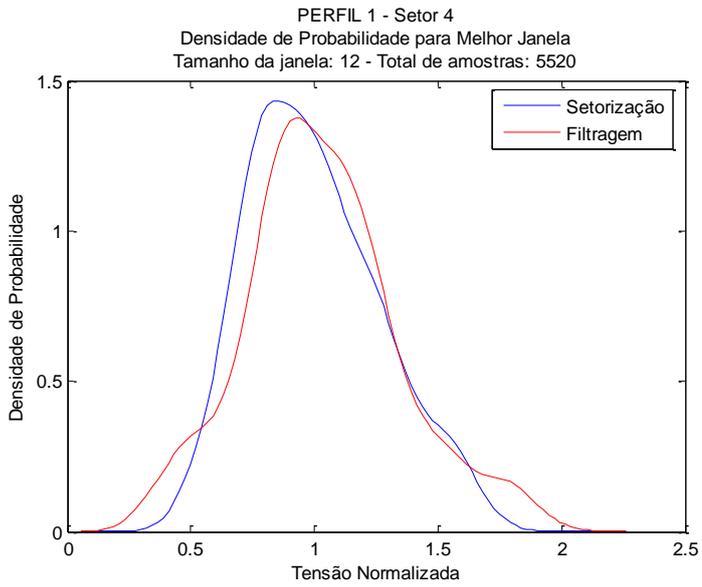
(a)



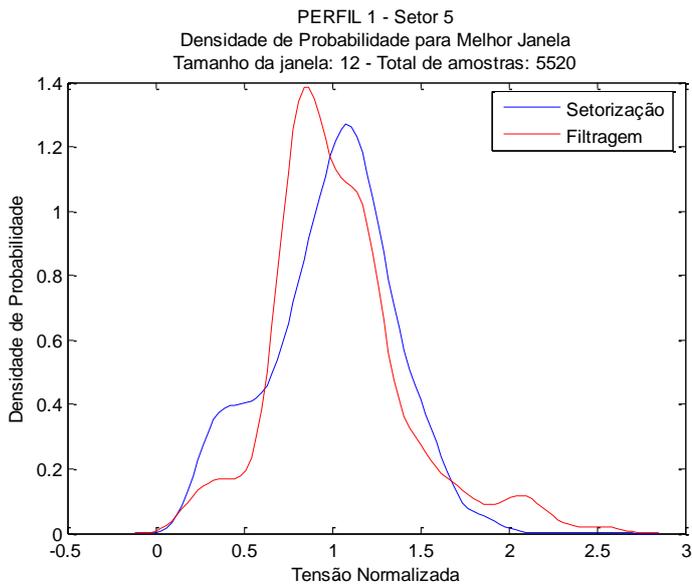
(b)



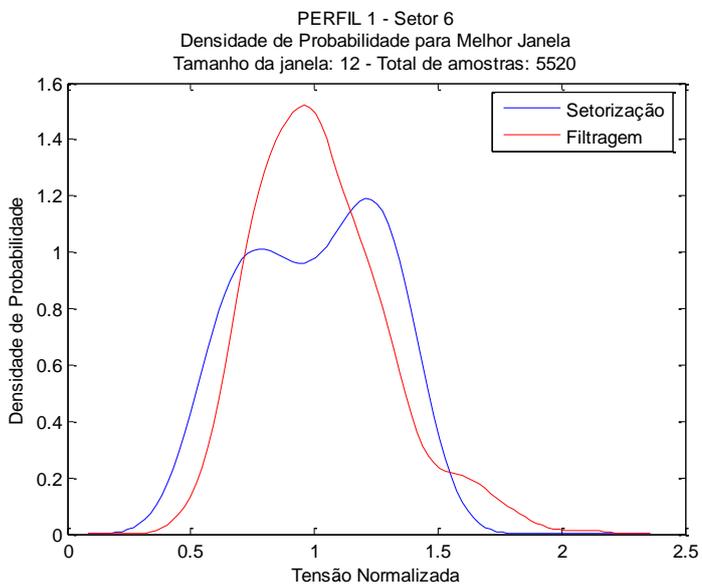
(c)



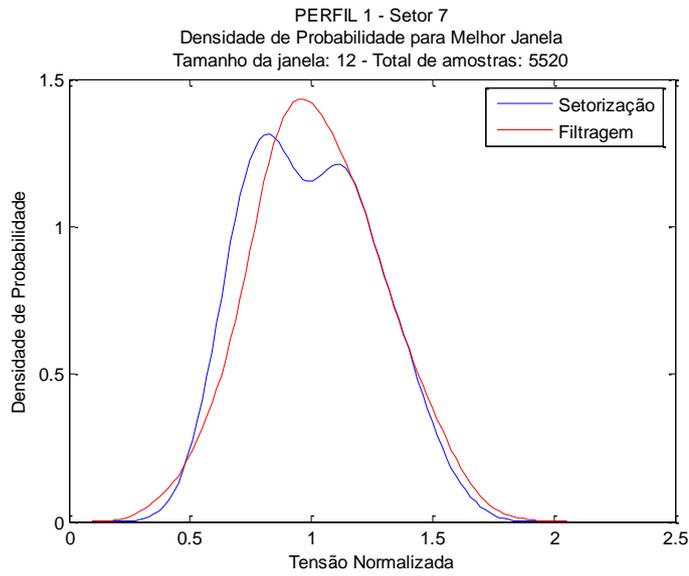
(d)



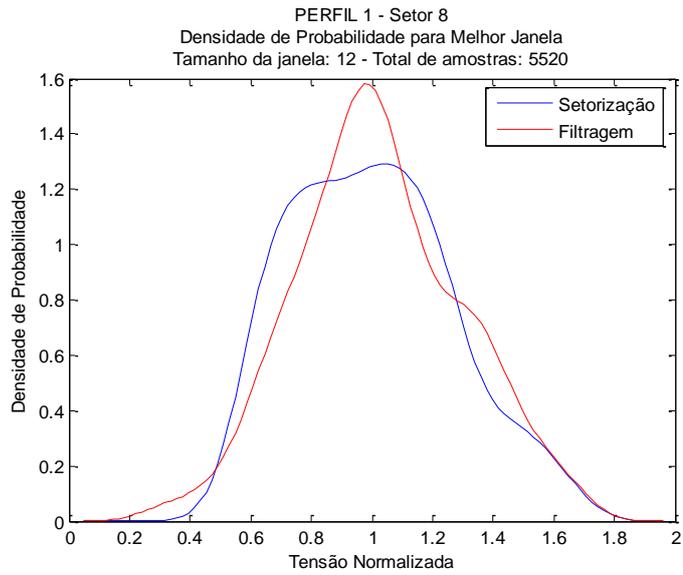
(e)



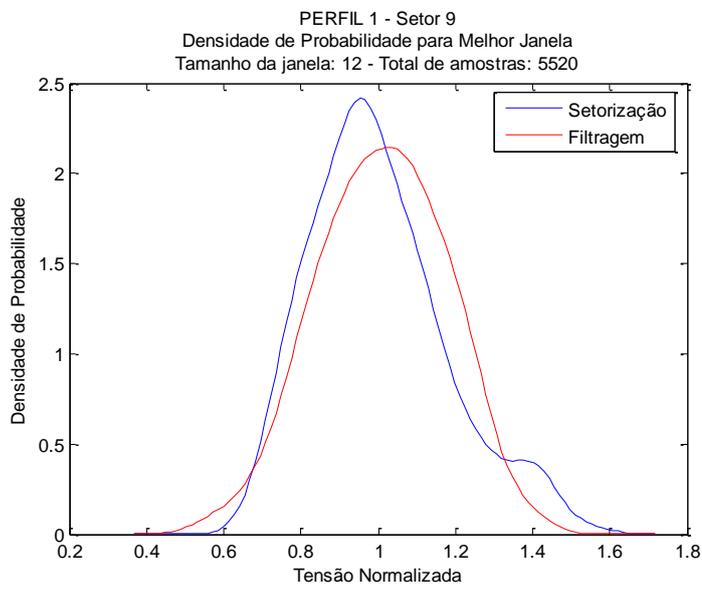
(f)



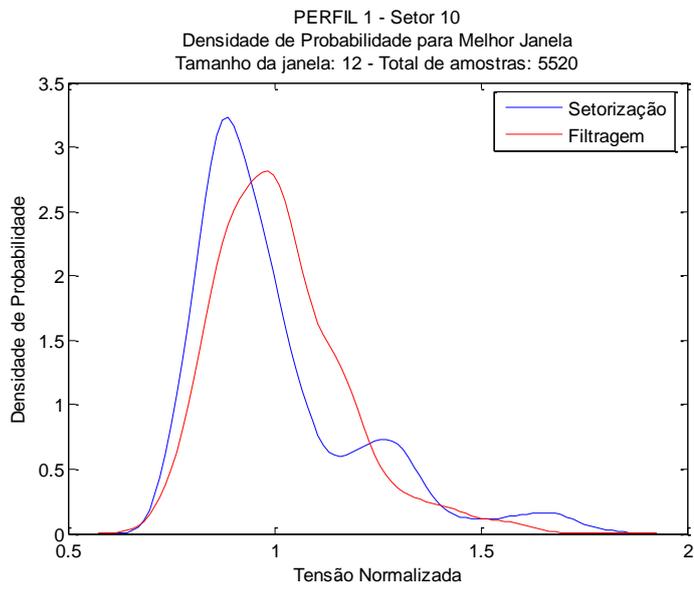
(g)



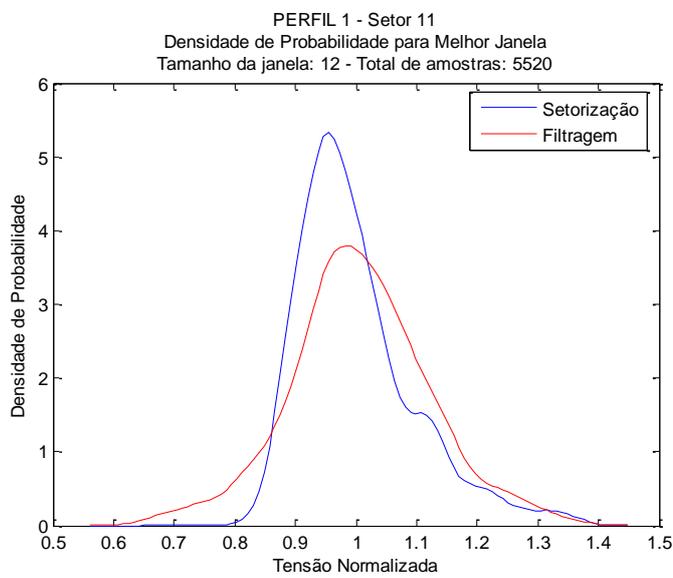
(h)



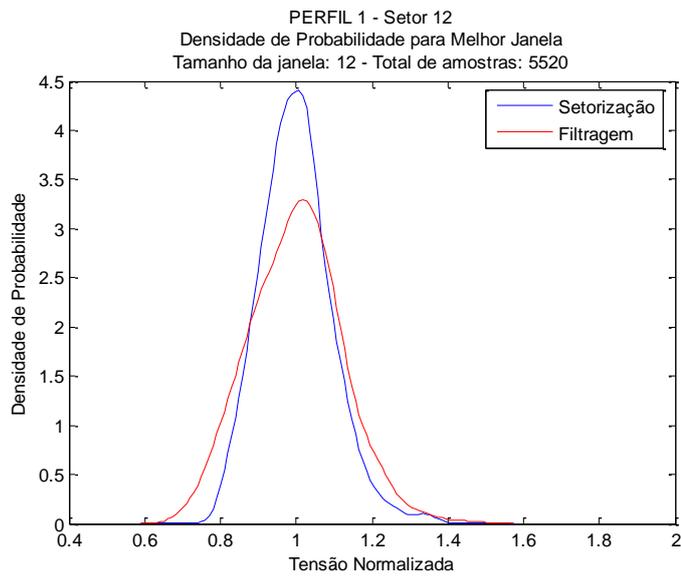
(i)



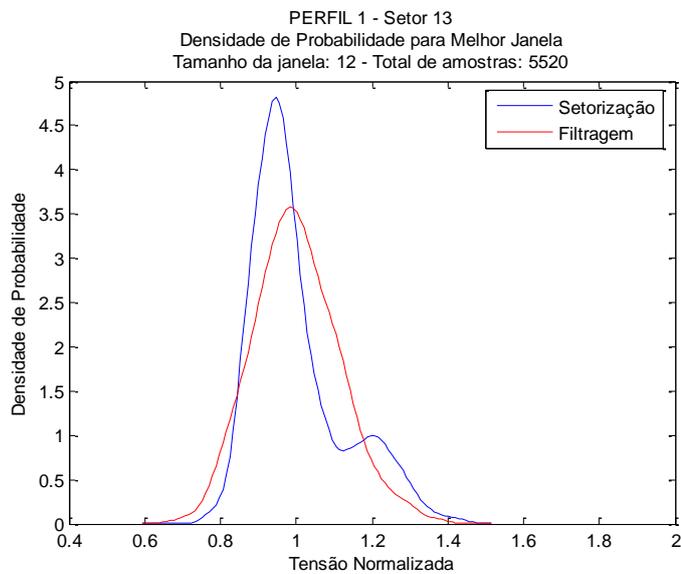
(j)



(k)



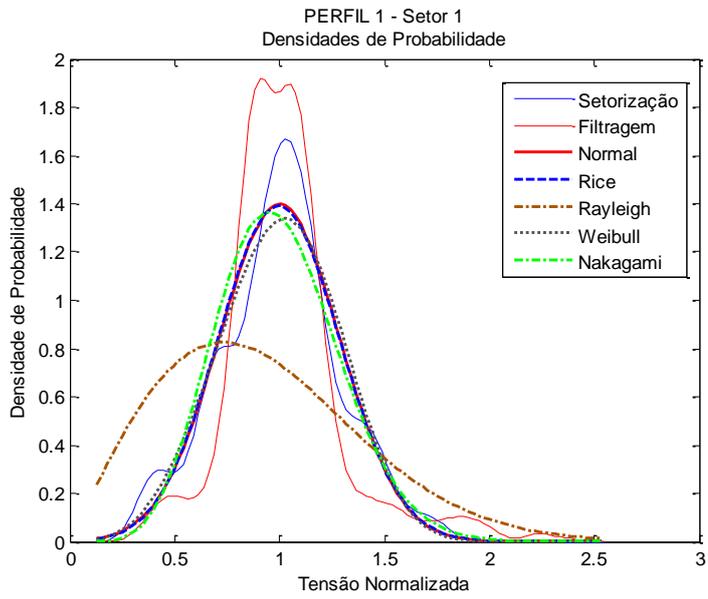
(l)



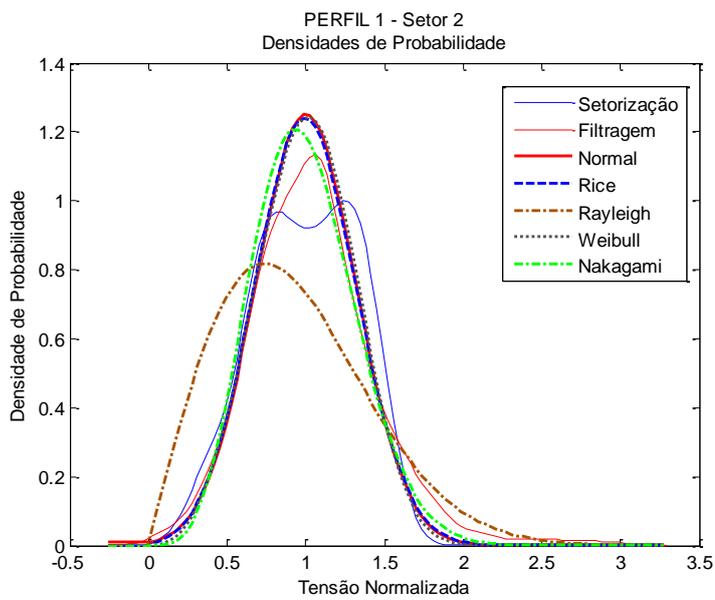
(m)

Figura 64: Densidade de probabilidade perfil 1.

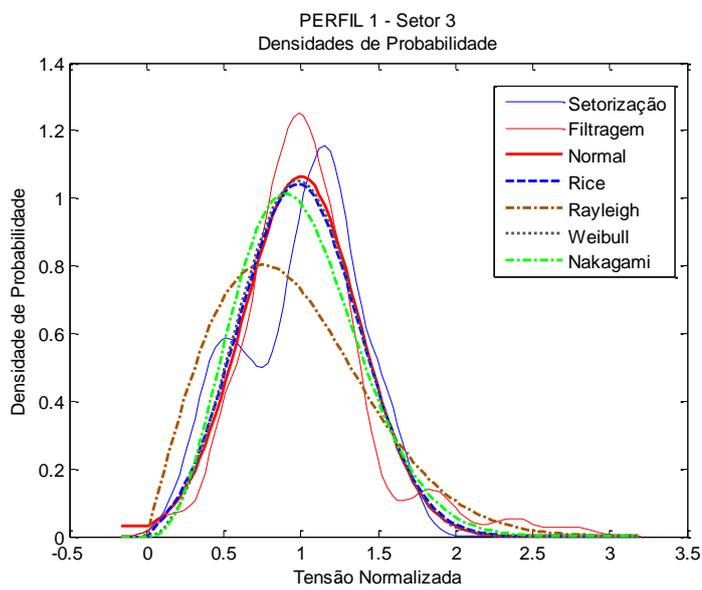
Ainda com os valores de tensão normalizada, deseja-se saber qual é a distribuição estatística que melhor representa o desvanecimento rápido em cada setor. Através das funções *fitdisty* e *ksdensity* do MATLAB são ajustadas a distribuição Normal, Rice, Rayleigh, Weibull e Nakagami junto com as distribuições de tensão normalizada da setorização e da filtragem (FMM). Os gráficos podem ser observados na Figura 65 da letra (a) até a letra (m).



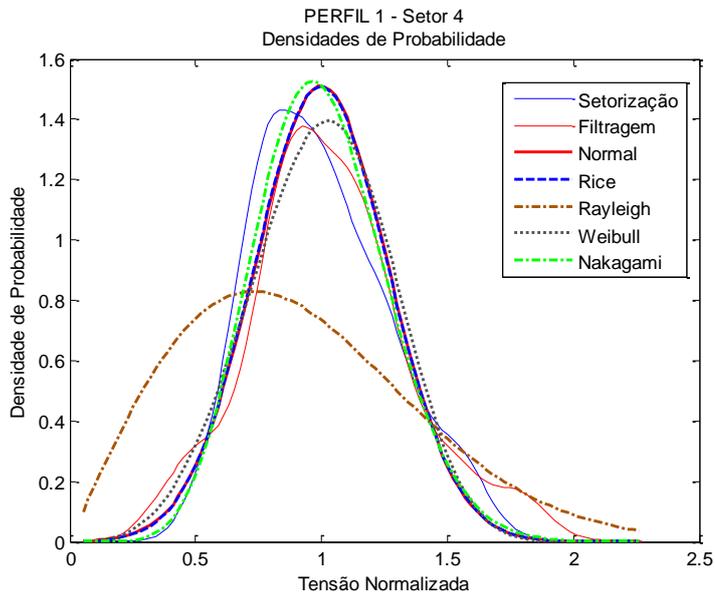
(a)



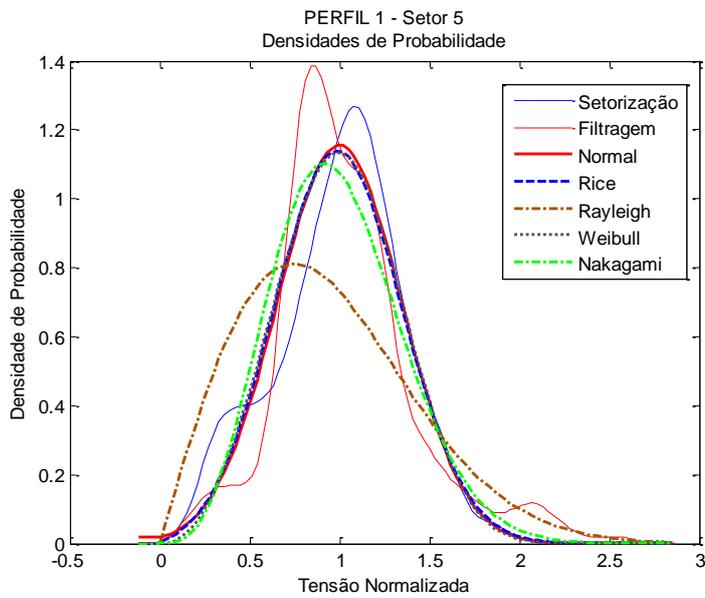
(b)



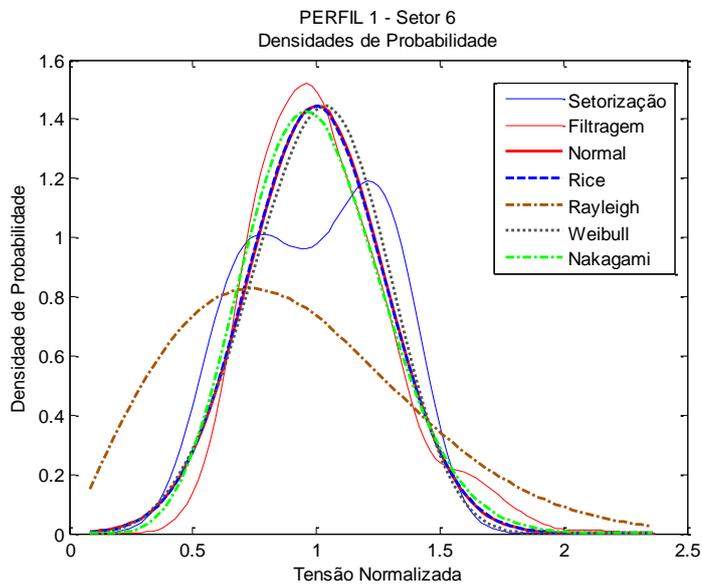
(c)



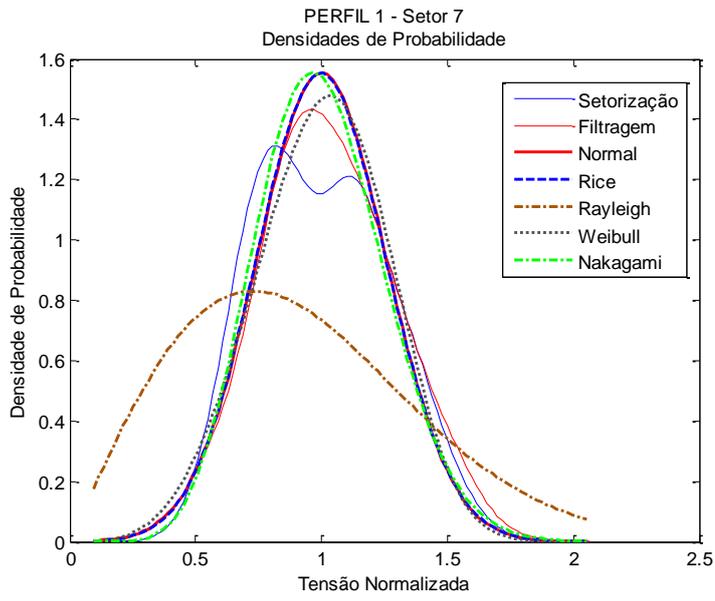
(d)



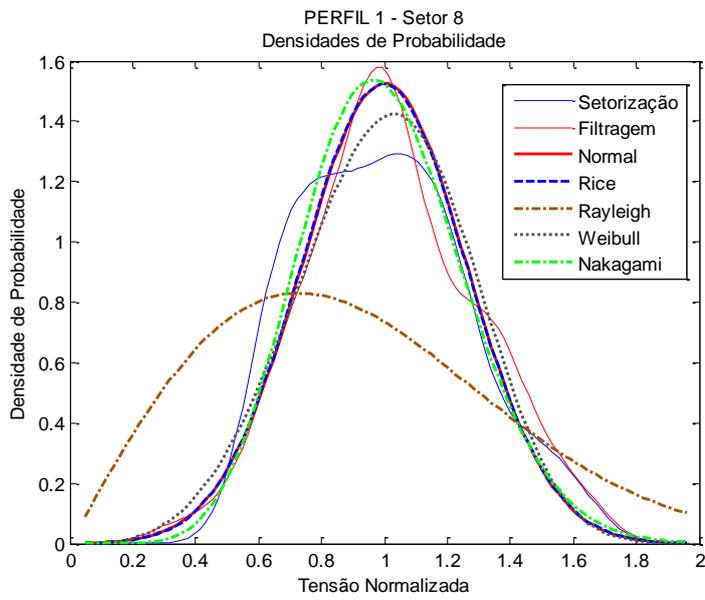
(e)



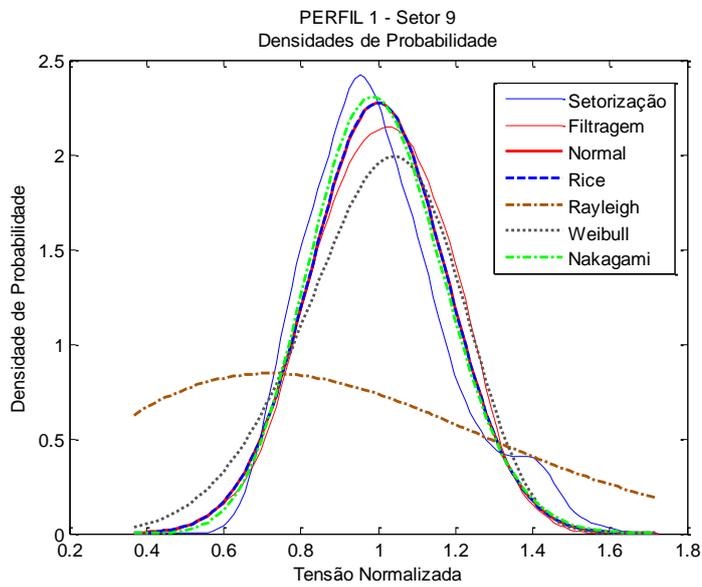
(f)



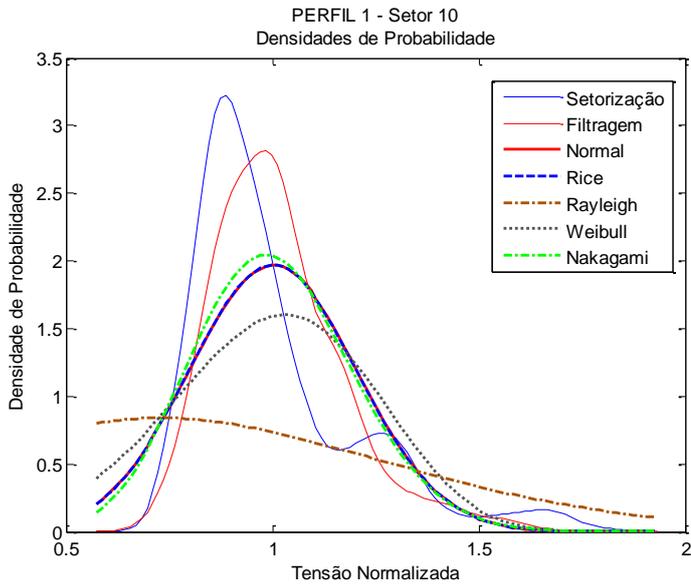
(g)



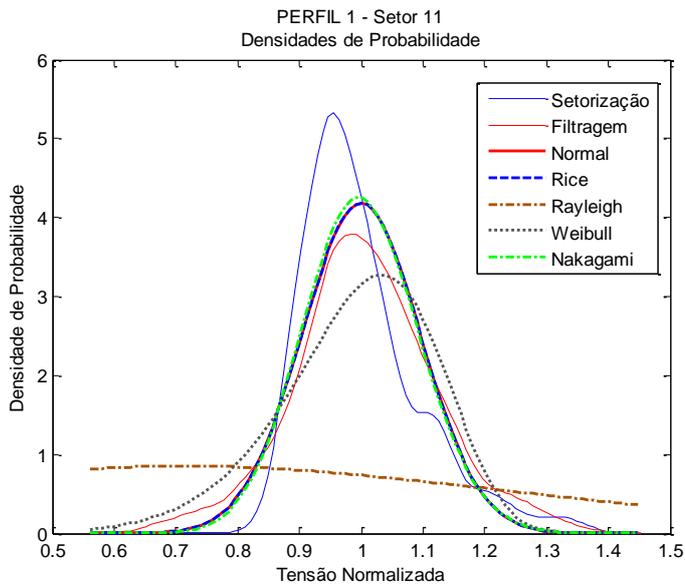
(h)



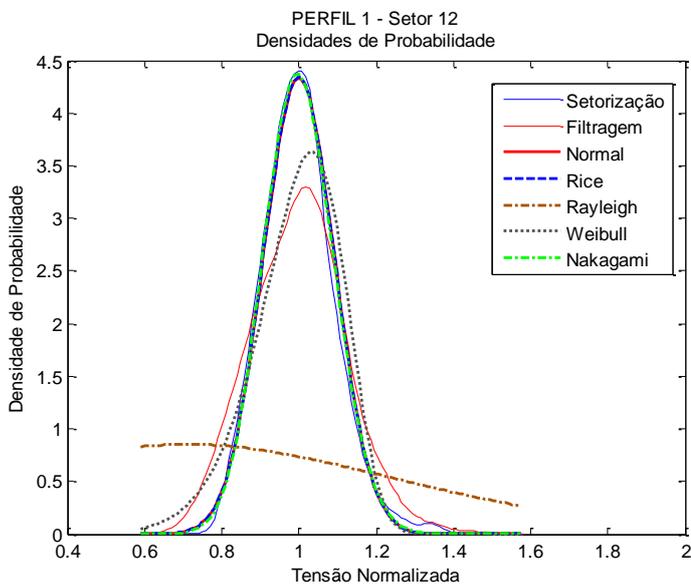
(i)



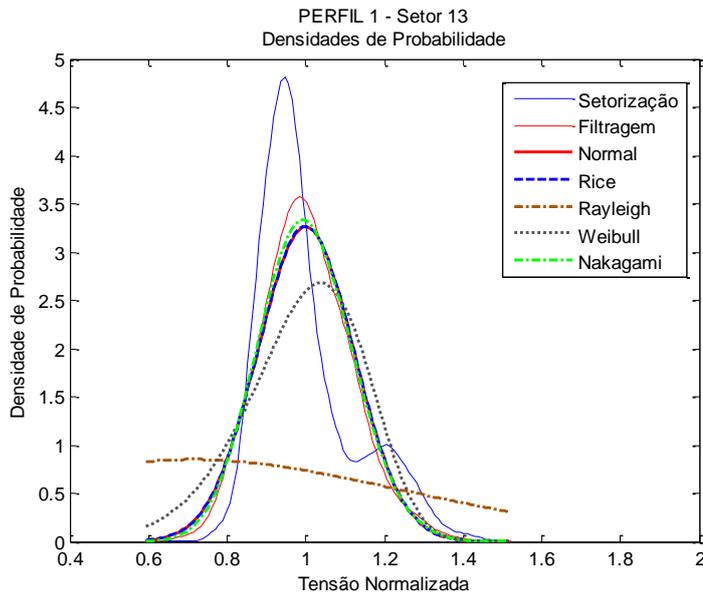
(j)



(k)



(l)



(m)

Figura 65: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 1.

A Tabela 3 quantifica a diferença entre a curva de setorização e a respectiva distribuição (Normal, Rice, Weibull, Nakagami e Rayleigh) em cada setor. O mesmo cálculo é feito para a curva de FMM. Observar que, para cada setor, de 1 a 5 é fornecida desde a melhor até a pior distribuição ajustada aos dados.

	SETORIZAÇÃO		FMM	
	Distribuição	Diferença	Distribuição	Diferença
SETOR 1	1 Normal	0.158	Normal	0.396
	2 Rice	0.160	Rice	0.397
	3 Weibull	0.168	Nakagami	0.411
	4 Nakagami	0.197	Weibull	0.440
	5 Rayleigh	0.552	Rayleigh	0.807
SETOR 2	1 Weibull	0.193	Rice	0.138
	2 Rice	0.201	Normal	0.142
	3 Normal	0.207	Nakagami	0.145
	4 Nakagami	0.224	Weibull	0.159
	5 Rayleigh	0.459	Rayleigh	0.393
SETOR 3	1 Normal	0.249	Normal	0.204
	2 Rice	0.254	Rice	0.219
	3 Weibull	0.261	Weibull	0.220
	4 Nakagami	0.321	Nakagami	0.261
	5 Rayleigh	0.416	Rayleigh	0.469
SETOR 4	1 Nakagami	0.138	Weibull	0.155
	2 Rice	0.187	Normal	0.163
	3 Normal	0.193	Rice	0.163
	4 Weibull	0.213	Nakagami	0.177
	5 Rayleigh	0.599	Rayleigh	0.535
SETOR 5	1 Normal	0.164	Rice	0.230
	2 Rice	0.173	Normal	0.233
	3 Weibull	0.173	Weibull	0.249
	4 Nakagami	0.263	Nakagami	0.256
	5 Rayleigh	0.465	Rayleigh	0.510
SETOR 6	1 Weibull	0.246	Nakagami	0.103
	2 Rice	0.266	Rice	0.148
	3 Normal	0.267	Normal	0.153
	4 Nakagami	0.277	Weibull	0.204
	5 Rayleigh	0.542	Rayleigh	0.650
SETOR 7	1 Nakagami	0.169	Normal	0.100
	2 Rice	0.187	Rice	0.101
	3 Weibull	0.187	Weibull	0.109
	4 Normal	0.191	Nakagami	0.126
	5 Rayleigh	0.606	Rayleigh	0.629
SETOR 8	1 Nakagami	0.142	Normal	0.119
	2 Rice	0.174	Rice	0.120
	3 Normal	0.179	Nakagami	0.133
	4 Weibull	0.180	Weibull	0.138
	5 Rayleigh	0.569	Rayleigh	0.601
SETOR 9	1 Nakagami	0.161	Normal	0.076
	2 Rice	0.203	Rice	0.077
	3 Normal	0.205	Nakagami	0.111
	4 Weibull	0.320	Weibull	0.125
	5 Rayleigh	0.772	Rayleigh	0.831
SETOR 10	1 Nakagami	0.444	Nakagami	0.279
	2 Rice	0.480	Rice	0.318
	3 Normal	0.481	Normal	0.319
	4 Weibull	0.567	Weibull	0.457
	5 Rayleigh	0.690	Rayleigh	0.793
SETOR 11	1 Nakagami	0.316	Normal	0.165
	2 Normal	0.341	Rice	0.166
	3 Rice	0.341	Nakagami	0.182
	4 Weibull	0.546	Weibull	0.213
	5 Rayleigh	0.985	Rayleigh	0.829
SETOR 12	1 Nakagami	0.065	Weibull	0.174
	2 Normal	0.084	Normal	0.288
	3 Rice	0.084	Rice	0.289
	4 Weibull	0.300	Nakagami	0.295
	5 Rayleigh	0.985	Rayleigh	0.824
SETOR 13	1 Nakagami	0.449	Nakagami	0.056
	2 Normal	0.477	Rice	0.086
	3 Rice	0.477	Normal	0.087
	4 Weibull	0.602	Weibull	0.292
	5 Rayleigh	0.866	Rayleigh	0.850

Tabela 3: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 1.

5.3.2 Perfil 2

No perfil 2, a janela ótima que faz com que a diferença entre as curvas de densidades de probabilidade obtidas pela setorização e pelo filtro de média móvel seja mínima é a janela de tamanho iguala a 10 amostras, como se observa na Figura 66.

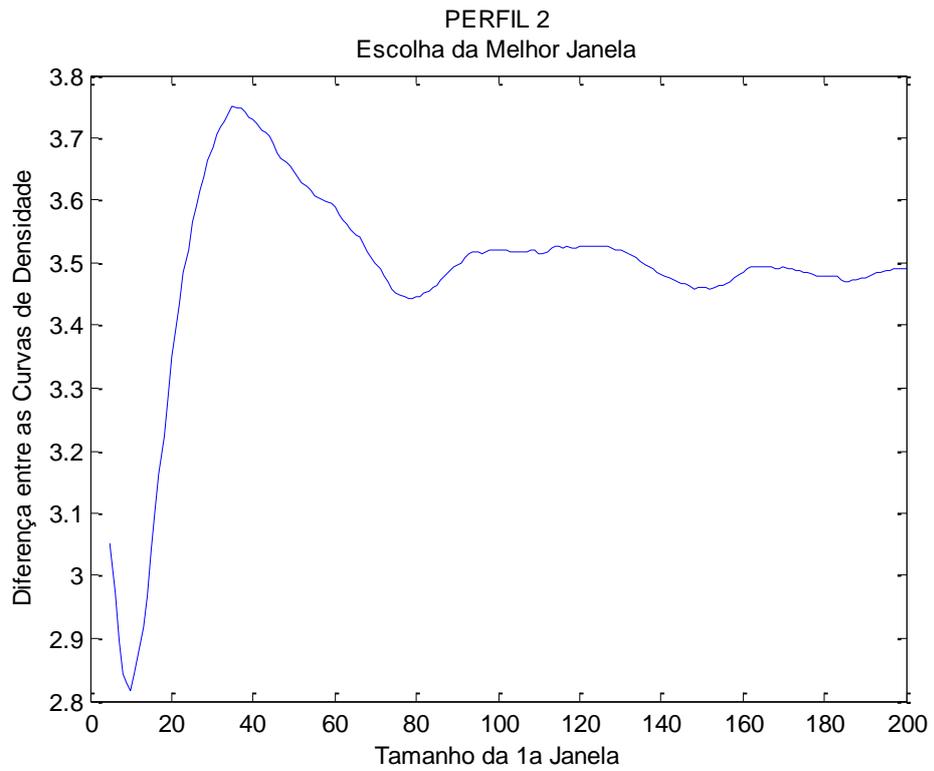
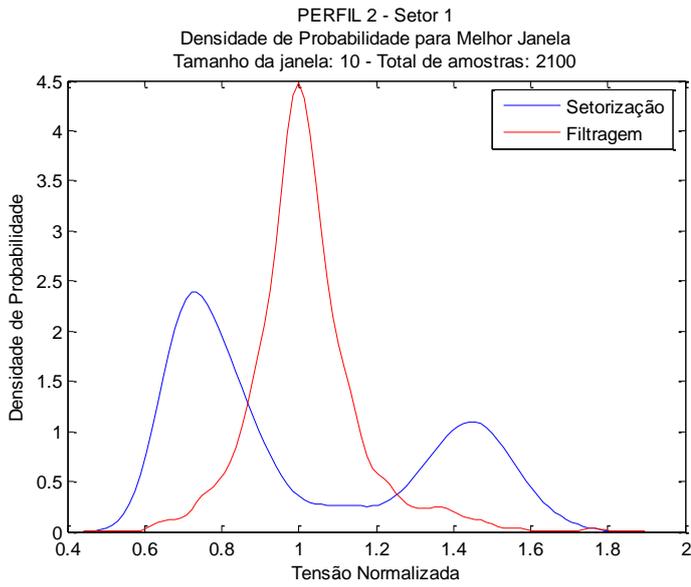
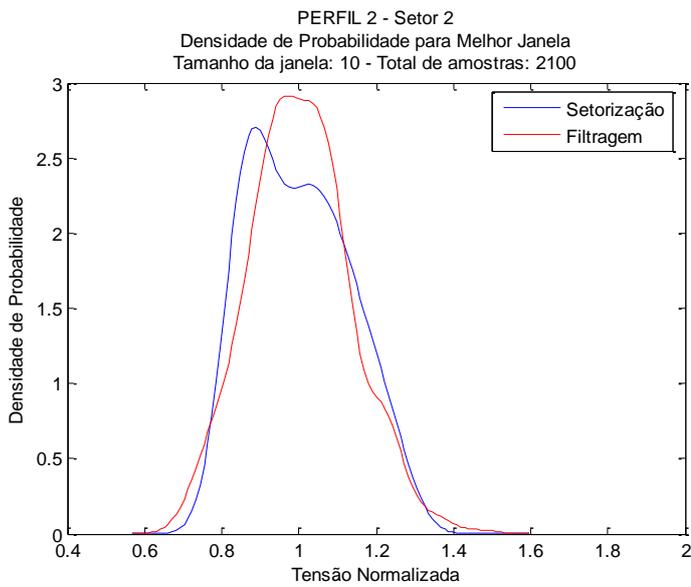


Figura 66: Diferença entre as curvas de densidade.

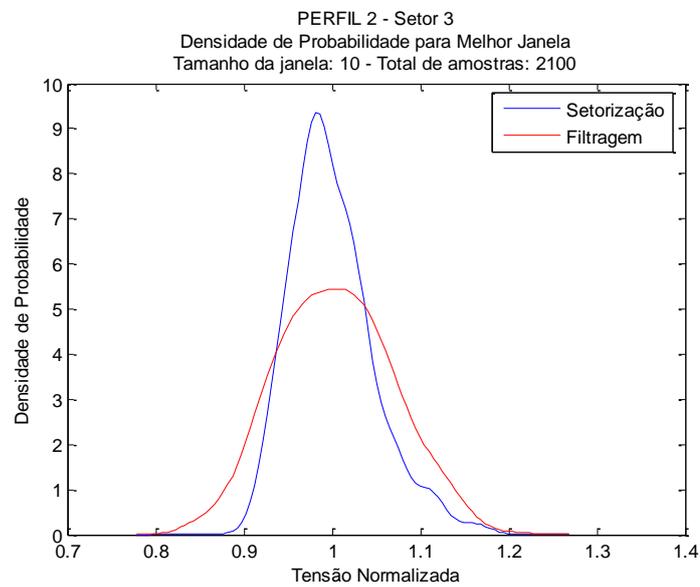
Na Figura 67, da letra (a) até a letra (e) estão os gráficos dos 5 setores com as PDFs de melhor ajuste e suas respectivas densidades de probabilidade para a melhor janela.



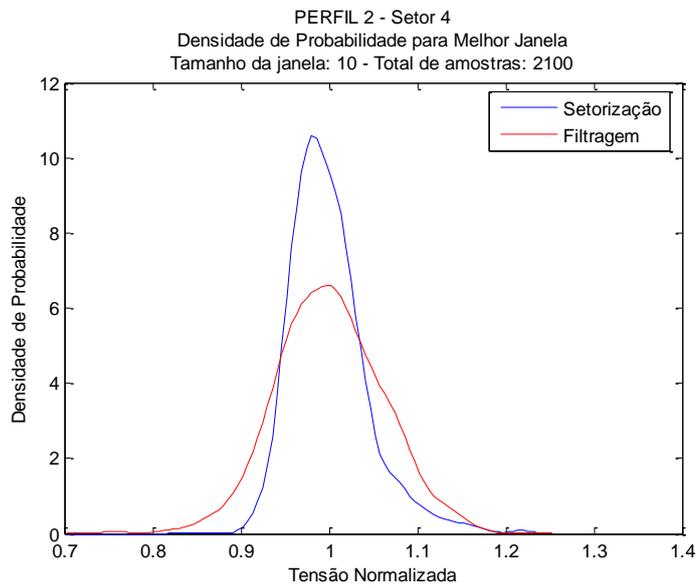
(a)



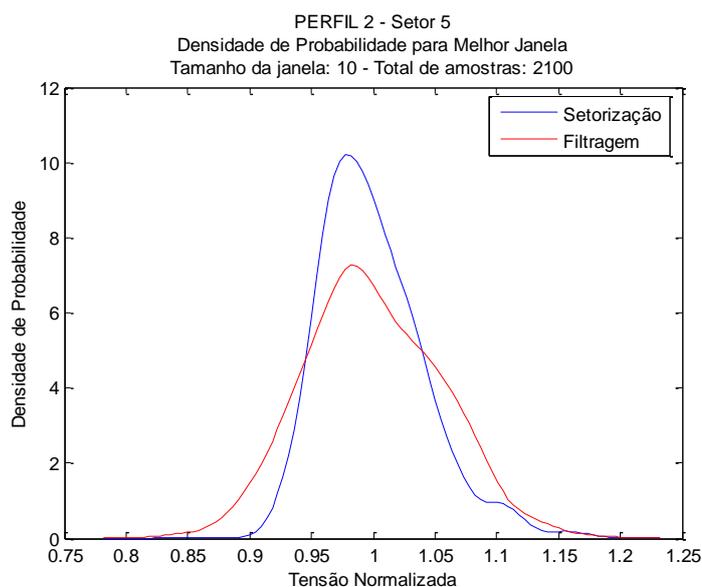
(b)



(c)



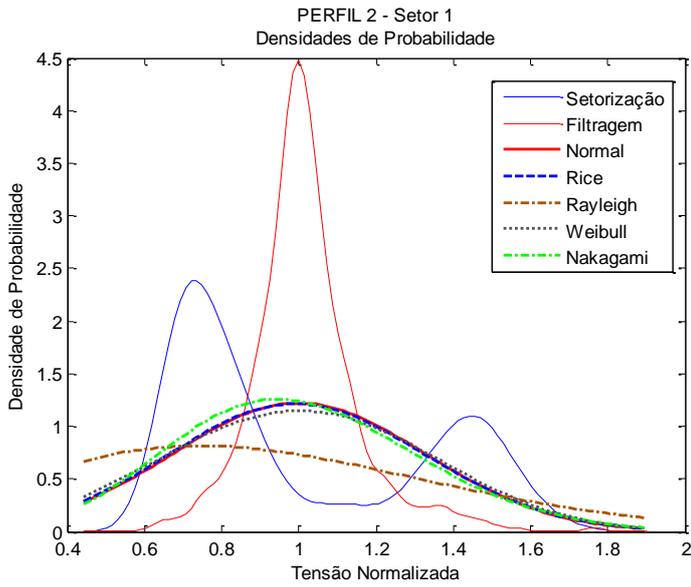
(d)



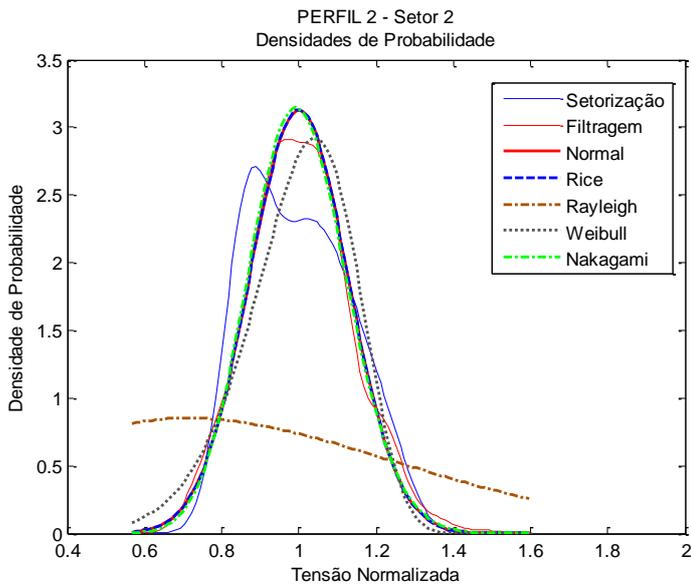
(e)

Figura 67: Densidade de probabilidade perfil 2.

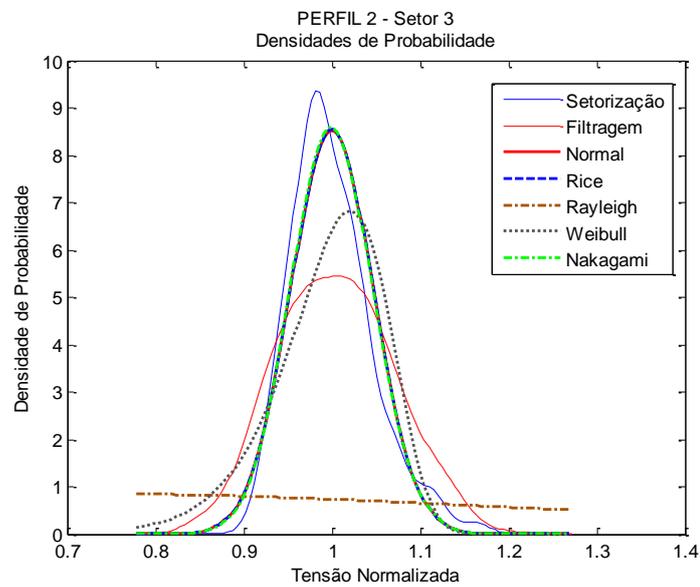
Ainda com os valores de tensão normalizada, deseja-se saber qual é a distribuição estatística que melhor representa o desvanecimento rápido em cada setor. Através das funções *fitdisty* e *ksdensity* do MATLAB são ajustadas as distribuições Normal, Rice, Rayleigh, Weibull e Nakagami junto com as distribuições de tensão normalizada da setorização e da filtragem (FMM). Os gráficos podem ser observados na Figura 68 da letra (a) até a letra (e).



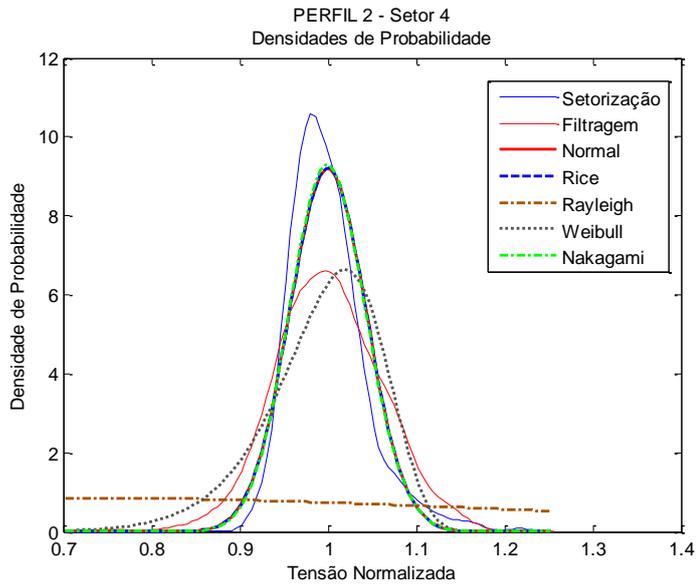
(a)



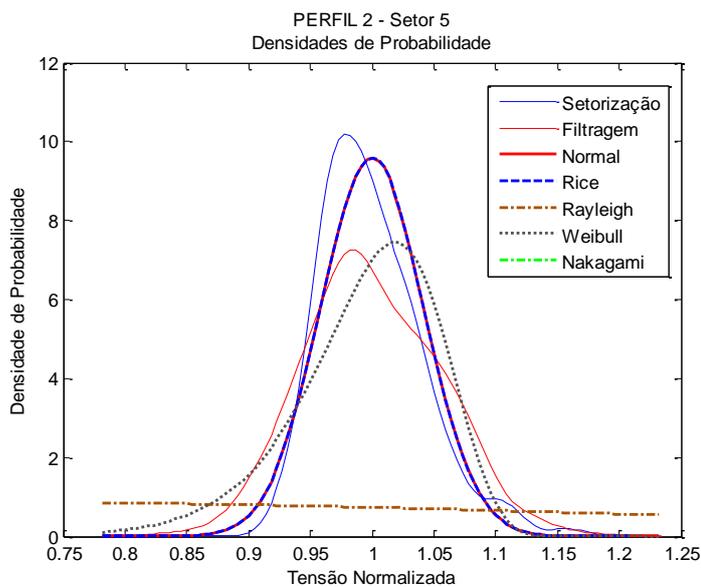
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 68: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 2.

A Tabela 4 quantifica a diferença entre a curva de setorização e a respectiva distribuição (Normal, Rice, Weibull, Nakagami e Rayleigh) em cada setor. O mesmo cálculo é feito para a curva de FMM. Na ordem de 1 a 5 estão desde o melhor ao pior ajuste da PDF ali citada.

		SETORIZAÇÃO		FMM	
		Distribuição	Diferença	Distribuição	Diferença
SETOR 1	1	Nakagami	0.704	Normal	0.839
	2	Rayleigh	0.669	Rice	0.845
	3	Weibull	0.710	Nakagami	0.846
	4	Rice	0.722	Weibull	0.875
	5	Normal	0.729	Rayleigh	0.978
SETOR 2	1	Nakagami	0.236	Nakagami	0.070
	2	Normal	0.246	Normal	0.073
	3	Rice	0.247	Rice	0.073
	4	Weibull	0.294	Weibull	0.185
	5	Rayleigh	0.848	Rayleigh	0.804
SETOR 3	1	Nakagami	0.185	Weibull	0.248
	2	Normal	0.197	Normal	0.391
	3	Rice	0.197	Rice	0.392
	4	Weibull	0.434	Nakagami	0.398
	5	Rayleigh	0.981	Rayleigh	0.870
SETOR 4	1	Nakagami	0.227	Weibull	0.216
	2	Rice	0.239	Normal	0.331
	3	Normal	0.240	Rice	0.332
	4	Weibull	0.562	Nakagami	0.339
	5	Rayleigh	1.056	Rayleigh	0.949
SETOR 5	1	Normal	0.211	Weibull	0.254
	2	Weibull	0.454	Normal	0.324
	3	Rayleigh	0.991	Rayleigh	0.907
	4	Rice	Inf	Rice	Inf
	5	Nakagami	Inf	Nakagami	Inf

Tabela 4: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 2.

5.3.3 Perfil 3

No perfil 3, a janela ótima que faz com que a diferença entre as curvas de densidades de probabilidade obtidas pela setorização e pelo filtro de média móvel seja mínima é a janela de tamanho igual a 14 amostras, como mostra a Figura 69.

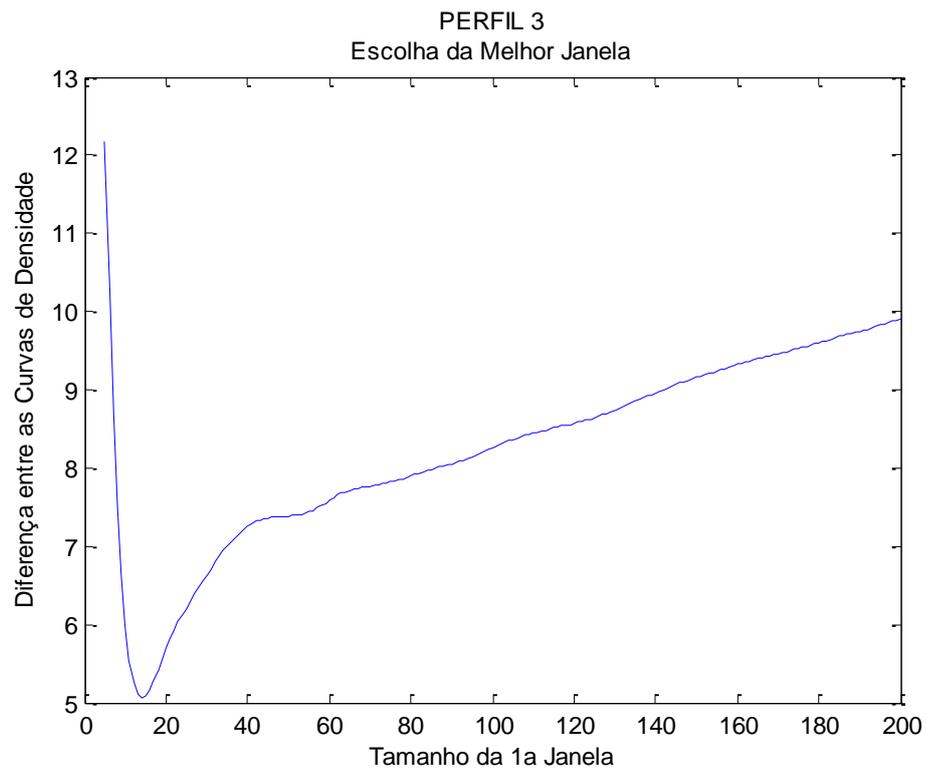
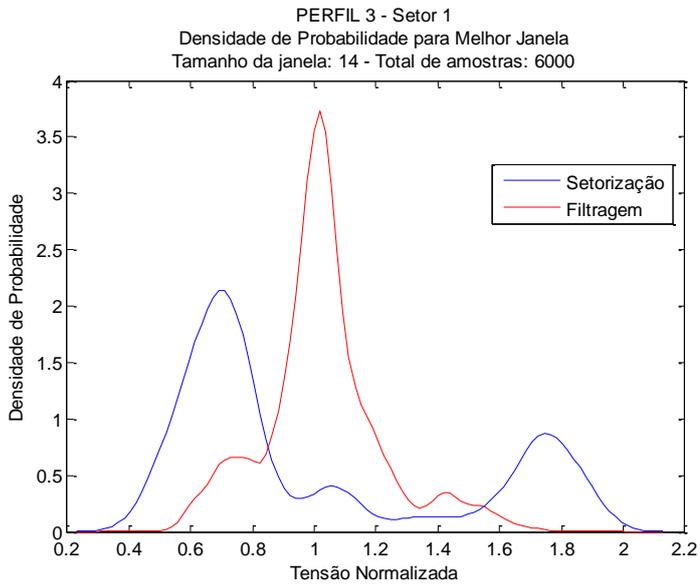
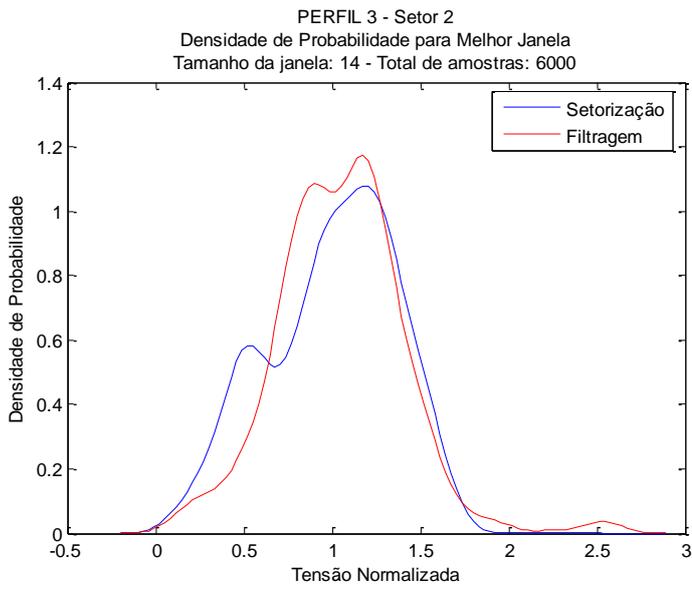


Figura 69: Diferença entre as curvas de densidade.

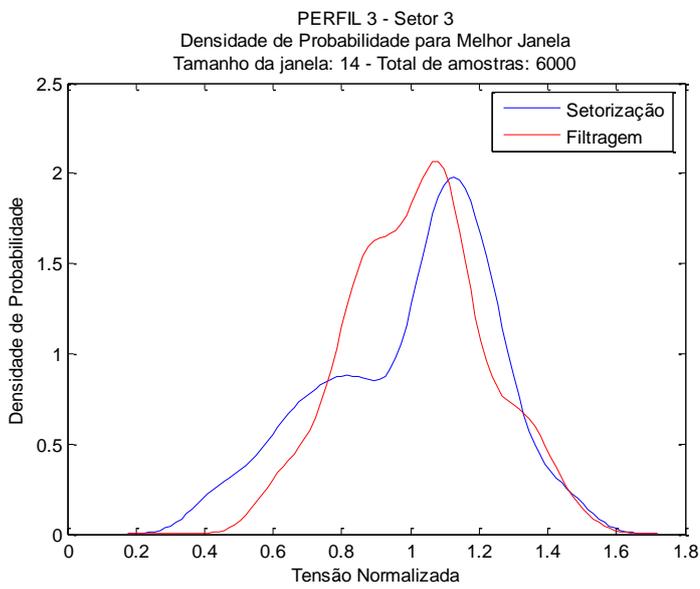
Na Figura 70 da letra (a) até a letra (n) estão os gráficos dos 13 setores com suas respectivas densidades de probabilidade para a melhor janela.



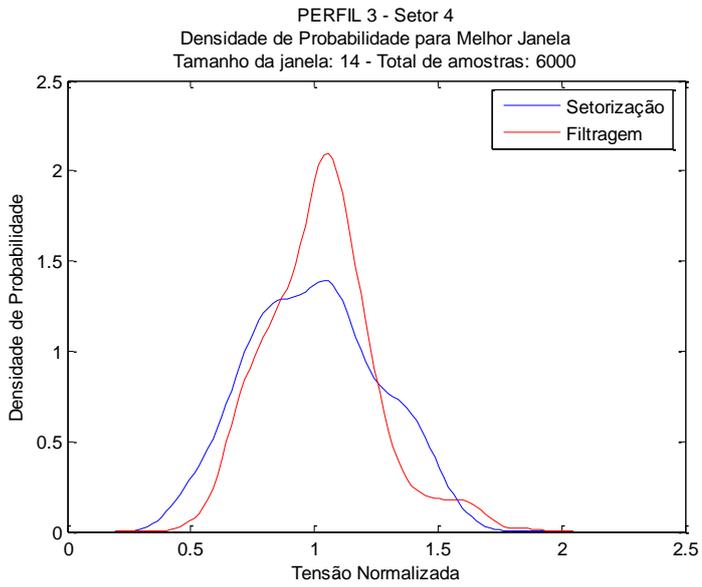
(a)



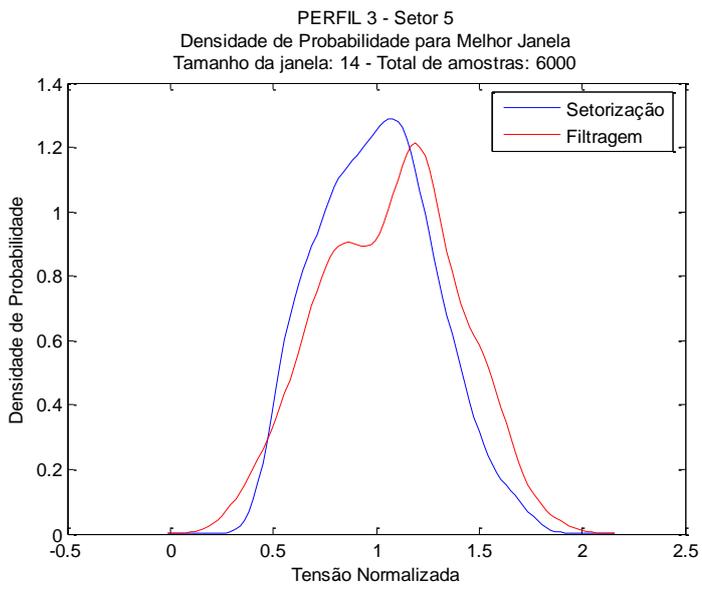
(b)



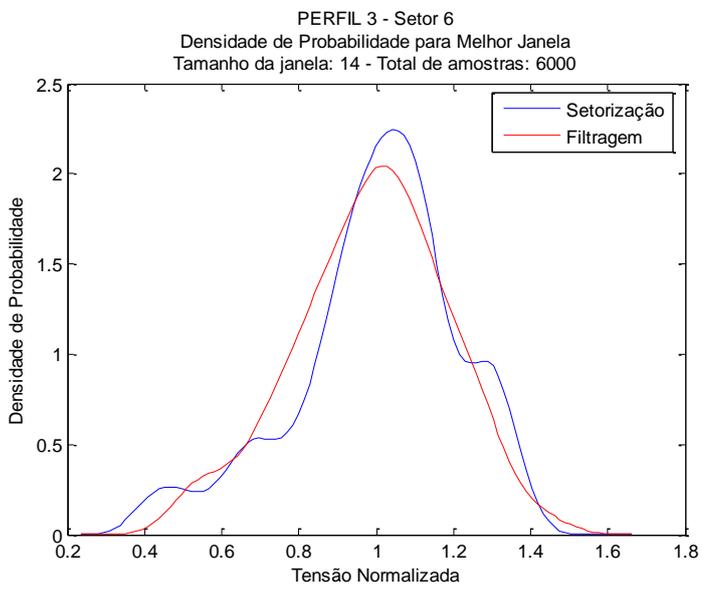
(c)



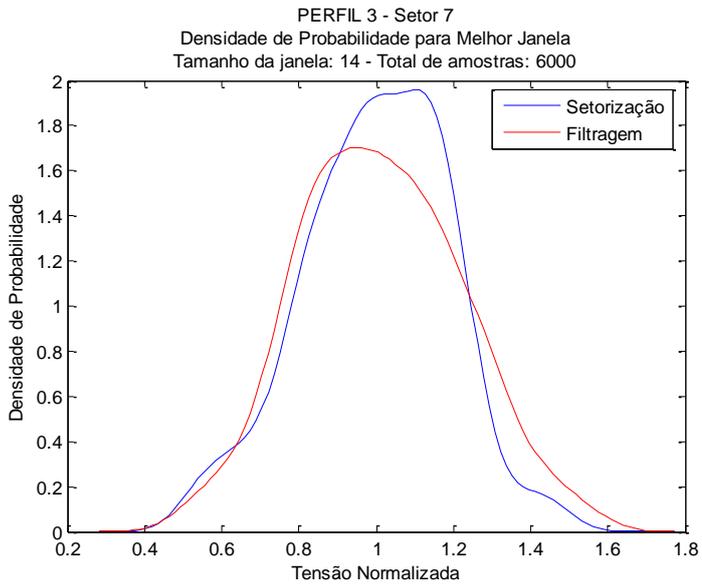
(d)



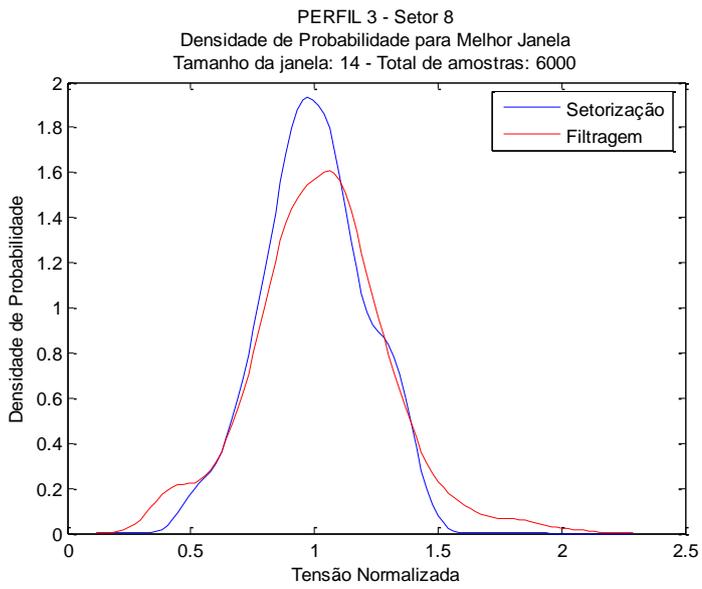
(e)



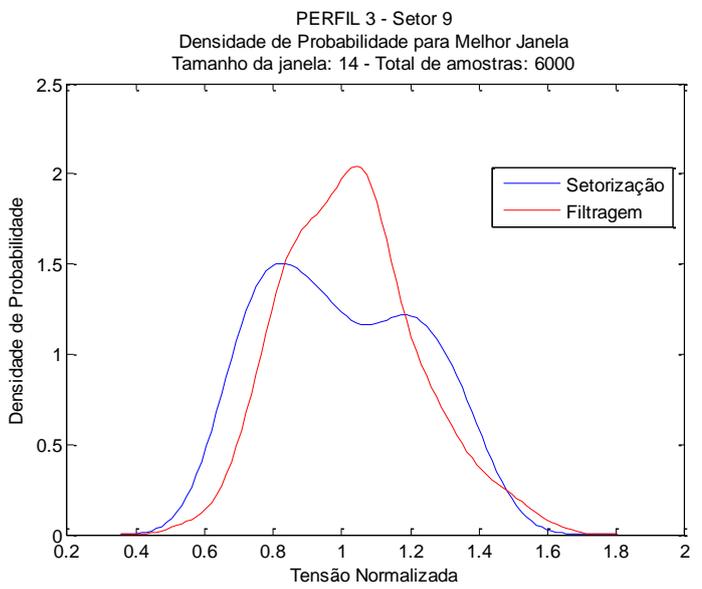
(f)



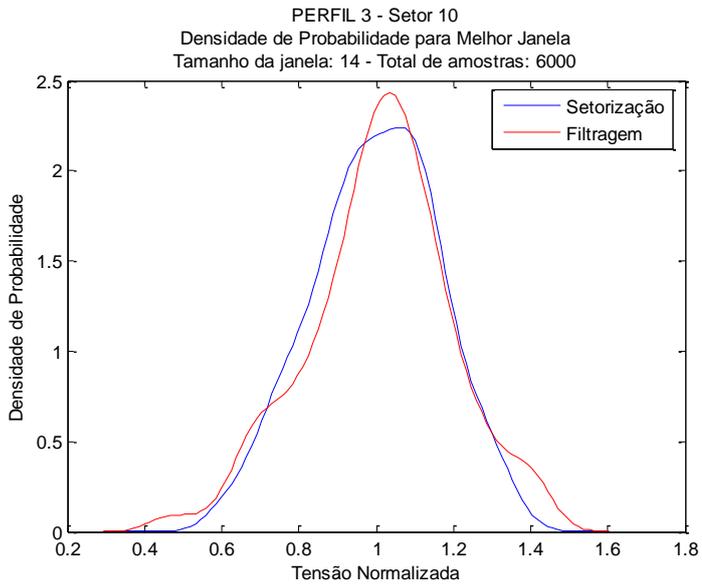
(g)



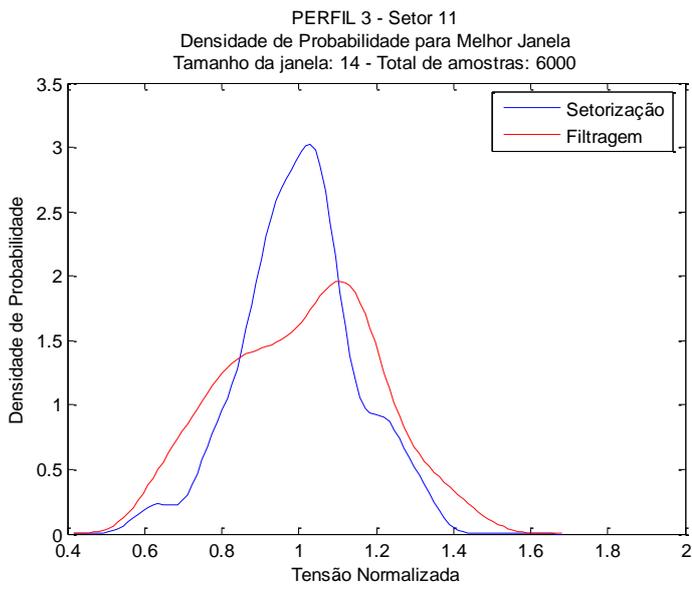
(h)



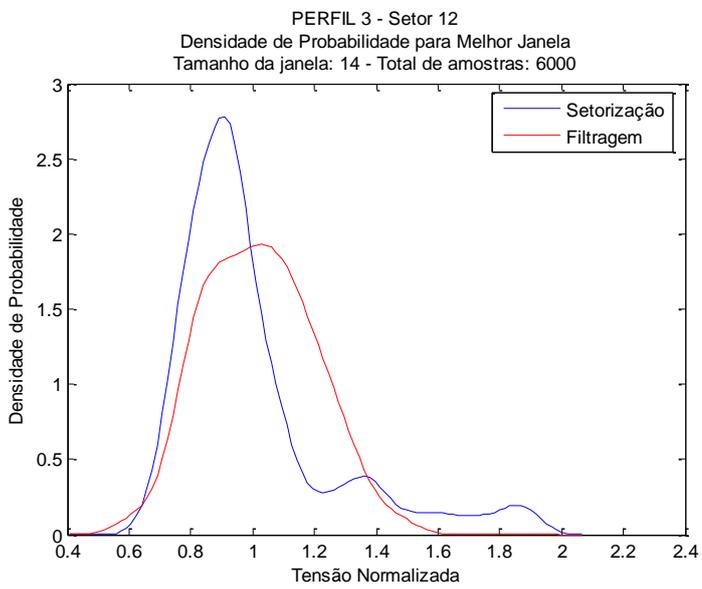
(i)



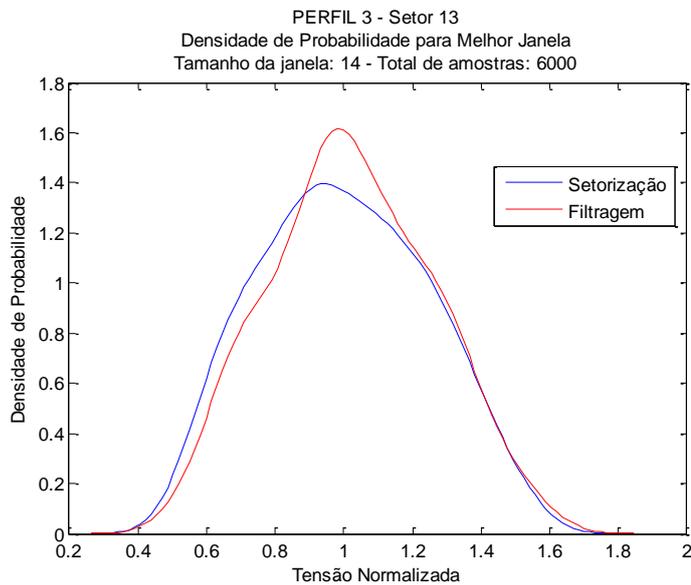
(j)



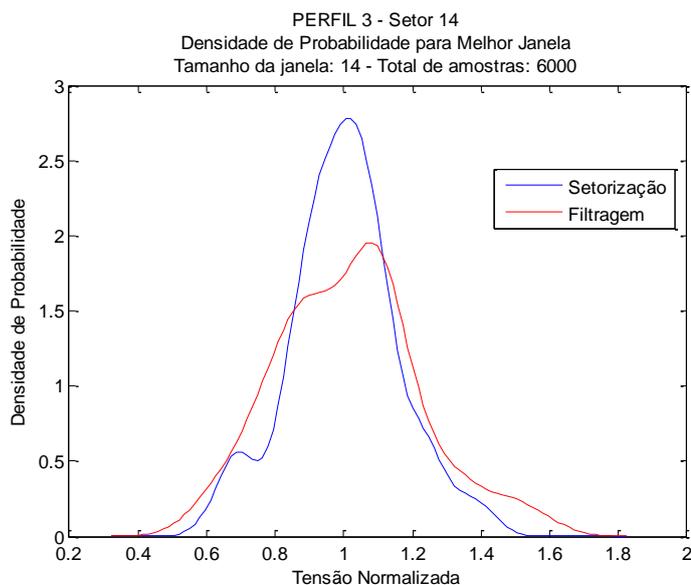
(k)



(l)



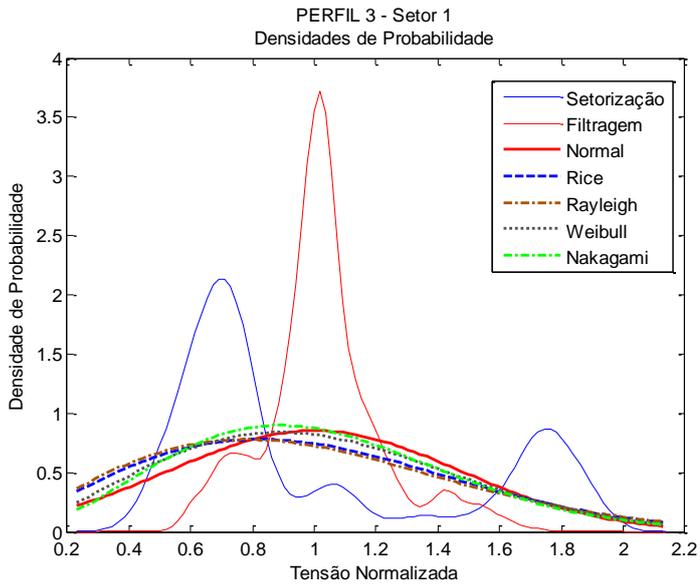
(m)



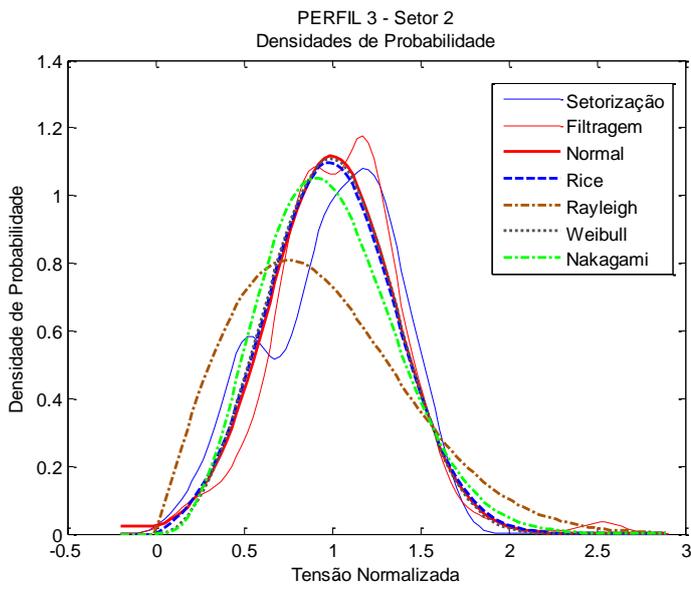
(n)

Figura 70: Densidade de probabilidade perfil 3.

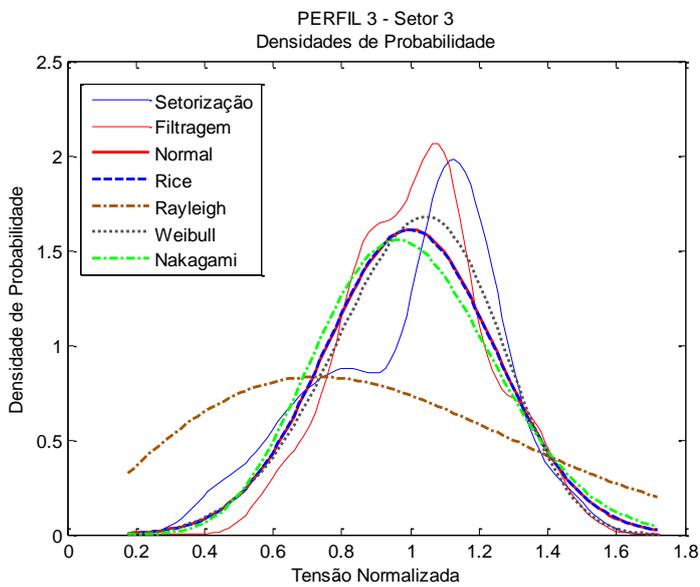
Ainda com os valores de tensão normalizada, deseja-se saber qual é a distribuição estatística que melhor representa o desvanecimento rápido em cada setor. Através das funções *fitdisty* e *ksdensity* do MATLAB são traçadas as distribuições Normal, Rice, Rayleigh, Weibull e Nakagami junto com as distribuições de tensão normalizada da setorização e da filtragem (FMM). Os gráficos podem ser observados na Figura 71 da letra (a) até a letra (n).



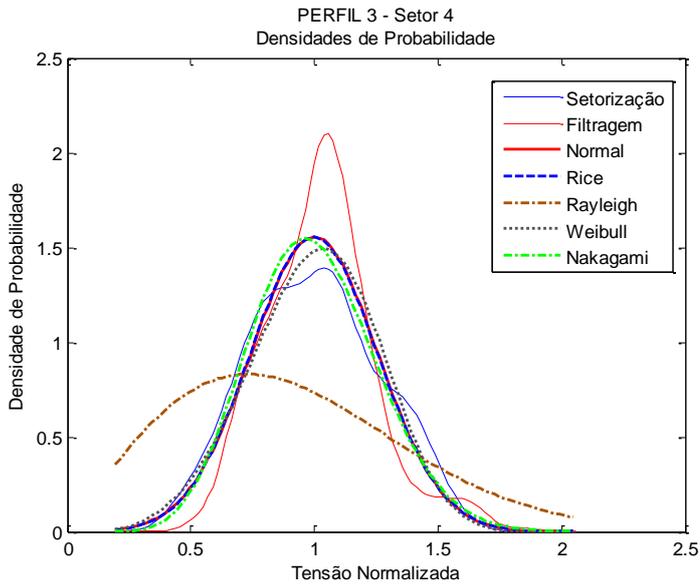
(a)



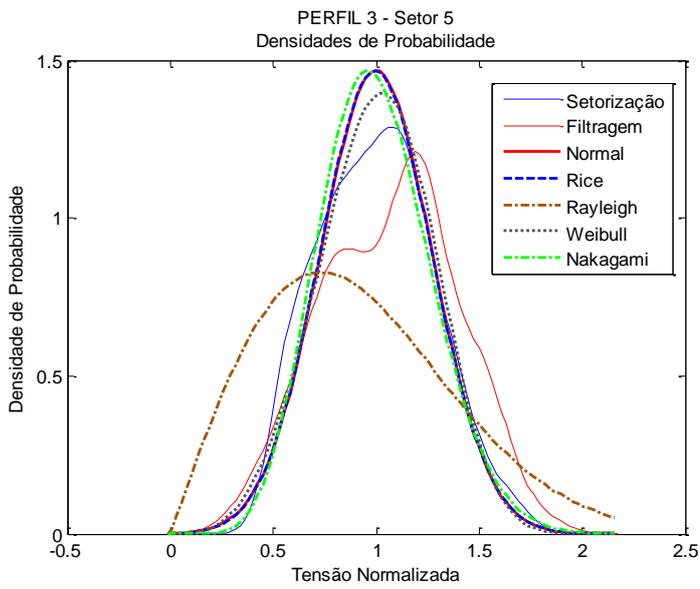
(b)



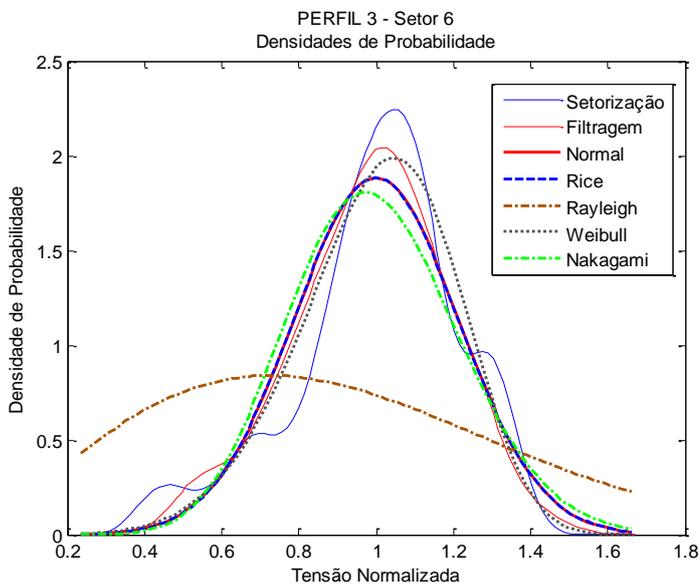
(c)



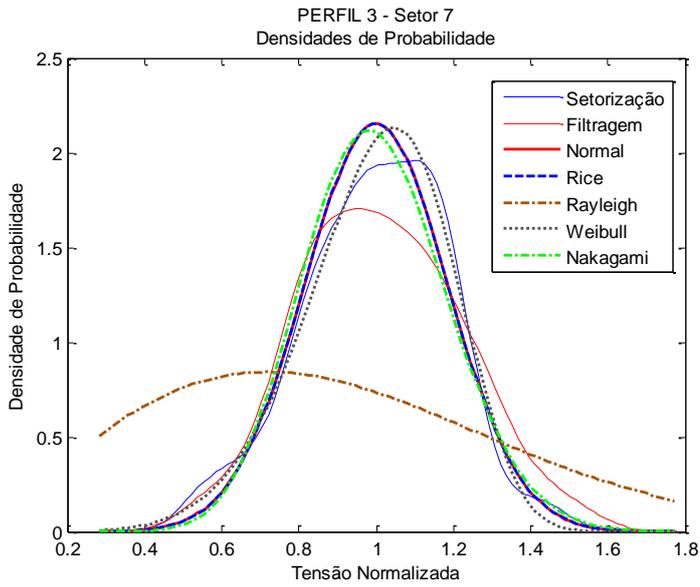
(d)



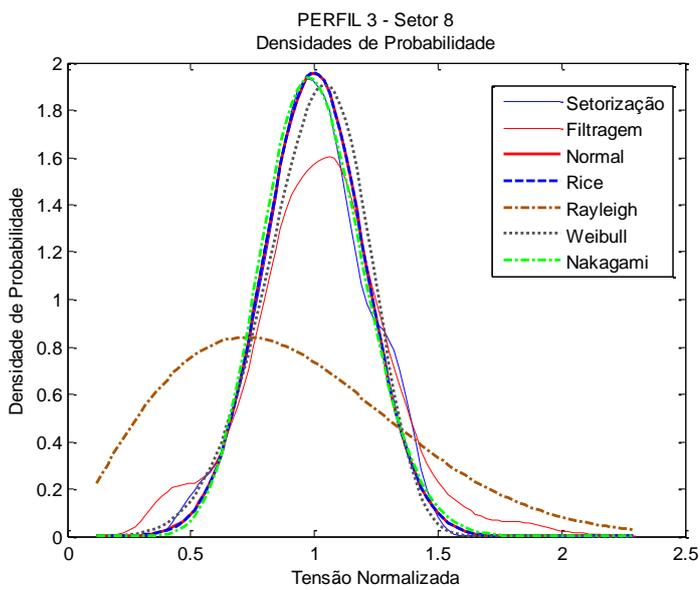
(e)



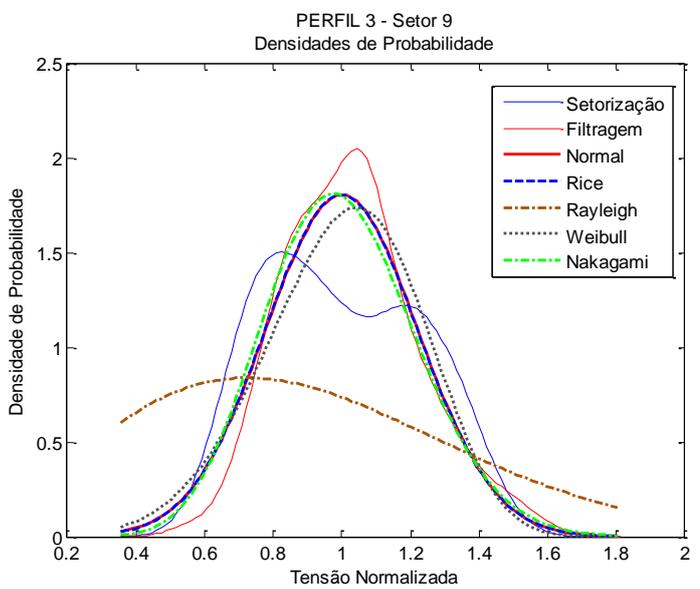
(f)



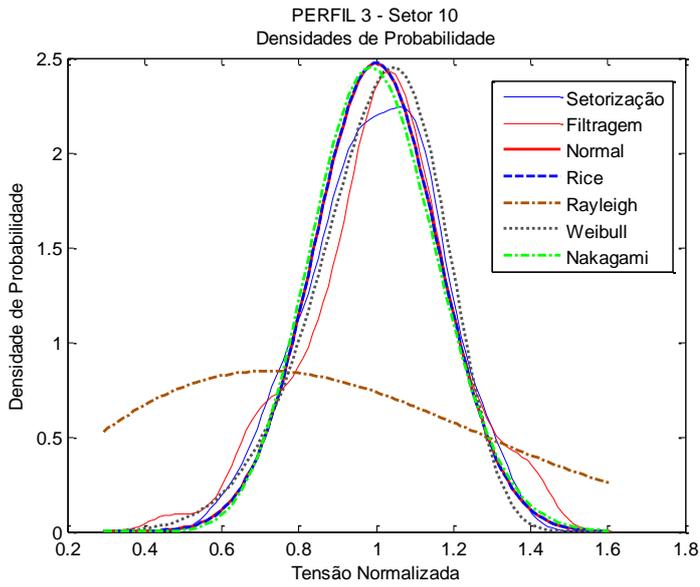
(g)



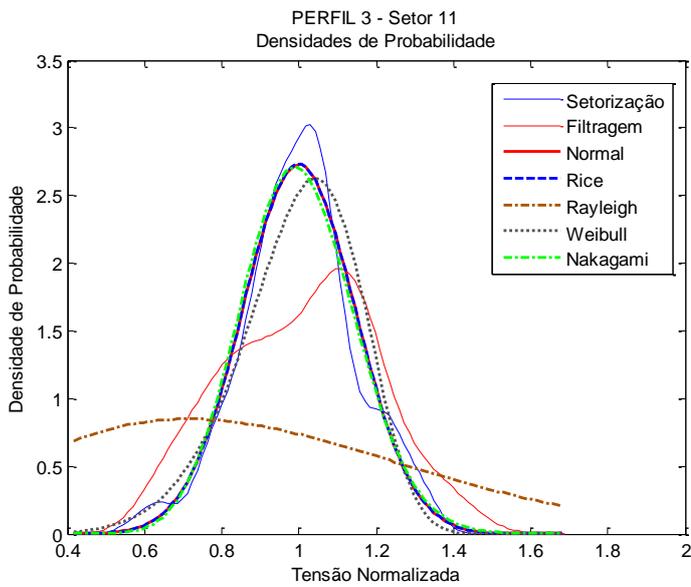
(h)



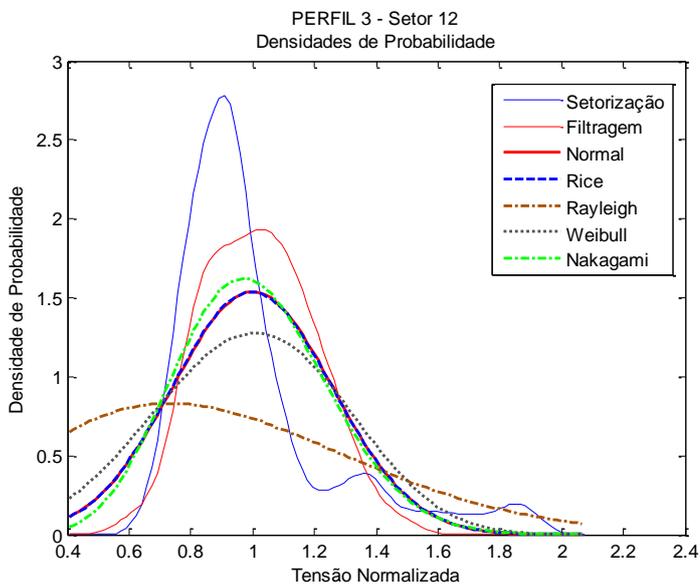
(i)



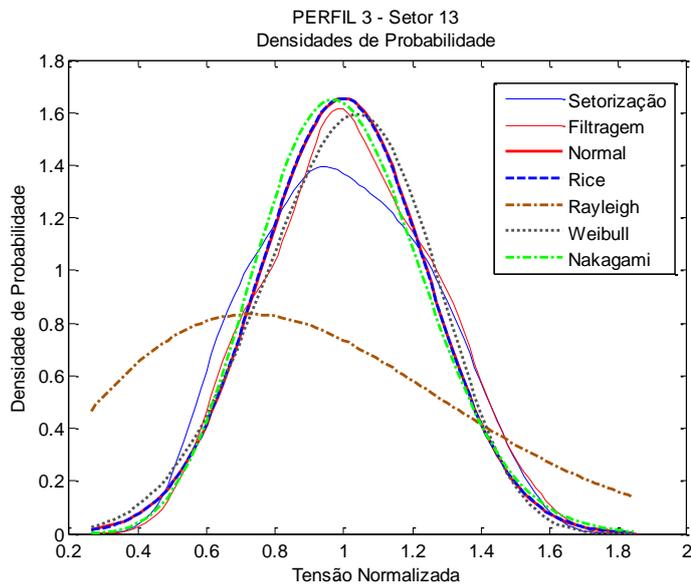
(j)



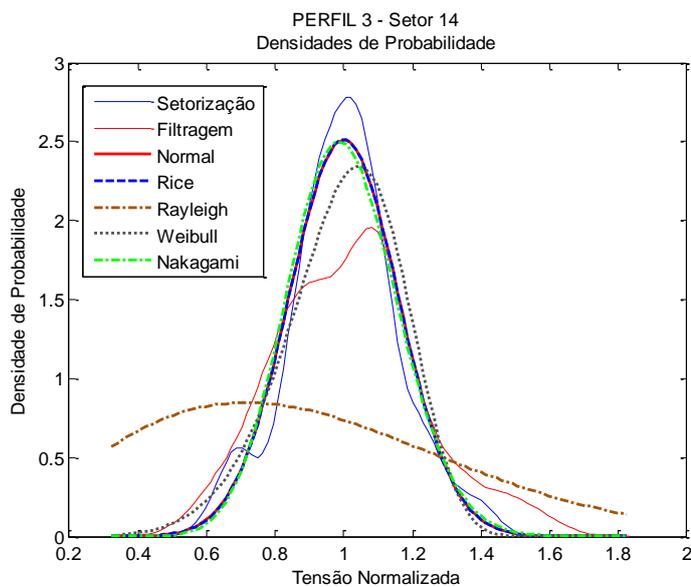
(k)



(l)



(m)



(n)

Figura 71: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 3.

A Tabela 5 abaixo quantifica a diferença entre a curva de setorização e a respectiva distribuição (Normal, Rice, Weibull, Nakagami e Rayleigh) em cada setor. O mesmo cálculo é feito para a curva de FMM. Na ordem de 1 a 5 estão as PDFs de melhor ao pior ajuste.

	SETORIZAÇÃO		FMM	
	Distribuição	Diferença	Distribuição	Diferença
SETOR 1	1	Rayleigh 0.772	Normal 0.784	
	2	Rice 0.784	Nakagami 0.810	
	3	Weibull 0.803	Weibull 0.831	
	4	Nakagami 0.804	Rice 0.864	
	5	Normal 0.853	Rayleigh 0.874	
SETOR 2	1	Normal 0.236	Normal 0.136	
	2	Rice 0.240	Weibull 0.151	
	3	Weibull 0.241	Rice 0.153	
	4	Nakagami 0.299	Nakagami 0.248	
	5	Rayleigh 0.442	Rayleigh 0.522	
SETOR 3	1	Weibull 0.238	Weibull 0.170	
	2	Normal 0.293	Normal 0.188	
	3	Rice 0.296	Rice 0.189	
	4	Nakagami 0.340	Nakagami 0.230	
	5	Rayleigh 0.589	Rayleigh 0.785	
SETOR 4	1	Nakagami 0.120	Normal 0.219	
	2	Rice 0.141	Rice 0.221	
	3	Weibull 0.142	Nakagami 0.243	
	4	Normal 0.144	Weibull 0.255	
	5	Rayleigh 0.584	Rayleigh 0.761	
SETOR 5	1	Weibull 0.118	Weibull 0.268	
	2	Rice 0.129	Normal 0.320	
	3	Normal 0.133	Rice 0.322	
	4	Nakagami 0.133	Nakagami 0.356	
	5	Rayleigh 0.545	Rayleigh 0.507	
SETOR 6	1	Weibull 0.179	Weibull 0.083	
	2	Normal 0.230	Normal 0.084	
	3	Rice 0.232	Rice 0.086	
	4	Nakagami 0.288	Nakagami 0.150	
	5	Rayleigh 0.765	Rayleigh 0.741	
SETOR 7	1	Weibull 0.080	Nakagami 0.174	
	2	Normal 0.130	Normal 0.194	
	3	Rice 0.132	Rice 0.195	
	4	Nakagami 0.164	Weibull 0.220	
	5	Rayleigh 0.805	Rayleigh 0.712	
SETOR 8	1	Normal 0.088	Weibull 0.204	
	2	Rice 0.088	Normal 0.231	
	3	Nakagami 0.093	Rice 0.232	
	4	Weibull 0.135	Nakagami 0.244	
	5	Rayleigh 0.832	Rayleigh 0.684	
SETOR 9	1	Nakagami 0.260	Nakagami 0.120	
	2	Rice 0.273	Rice 0.133	
	3	Normal 0.274	Normal 0.134	
	4	Weibull 0.275	Weibull 0.207	
	5	Rayleigh 0.612	Rayleigh 0.737	
SETOR 10	1	Weibull 0.099	Weibull 0.149	
	2	Normal 0.110	Normal 0.183	
	3	Rice 0.112	Rice 0.184	
	4	Nakagami 0.134	Nakagami 0.212	
	5	Rayleigh 0.837	Rayleigh 0.734	
SETOR 11	1	Normal 0.130	Weibull 0.341	
	2	Rice 0.130	Normal 0.407	
	3	Nakagami 0.142	Rice 0.408	
	4	Weibull 0.199	Nakagami 0.410	
	5	Rayleigh 0.864	Rayleigh 0.642	
SETOR 12	1	Nakagami 0.543	Nakagami 0.266	
	2	Rice 0.598	Normal 0.301	
	3	Normal 0.601	Rice 0.303	
	4	Weibull 0.675	Weibull 0.455	
	5	Rayleigh 0.755	Rayleigh 0.811	
SETOR 13	1	Weibull 0.160	Weibull 0.106	
	2	Nakagami 0.160	Rice 0.111	
	3	Rice 0.165	Normal 0.112	
	4	Normal 0.166	Nakagami 0.113	
	5	Rayleigh 0.573	Rayleigh 0.619	
SETOR 14	1	Normal 0.145	Weibull 0.240	
	2	Rice 0.145	Normal 0.271	
	3	Nakagami 0.153	Rice 0.272	
	4	Weibull 0.223	Nakagami 0.275	
	5	Rayleigh 0.885	Rayleigh 0.679	

Tabela 5: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 3.

5.3.4 Perfil 4

No perfil 4, a janela ótima que faz com que a diferença entre as curvas de densidades de probabilidade obtidas pela setorização e pelo filtro de média móvel seja mínima é a janela de tamanho igual a 13 amostras, como se vê na Figura 72.

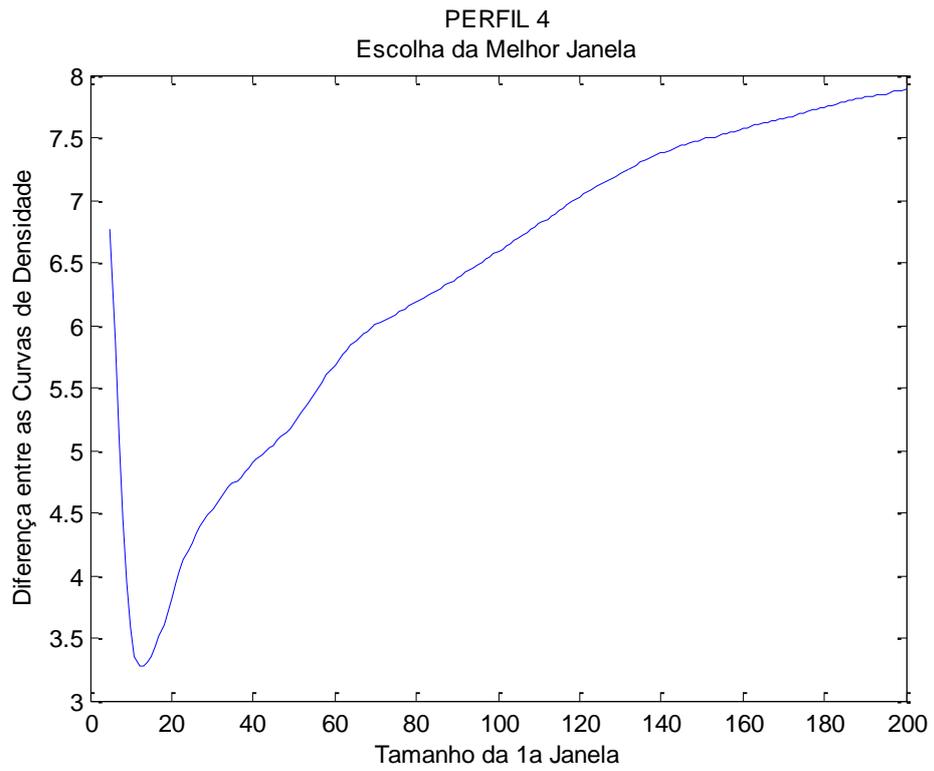
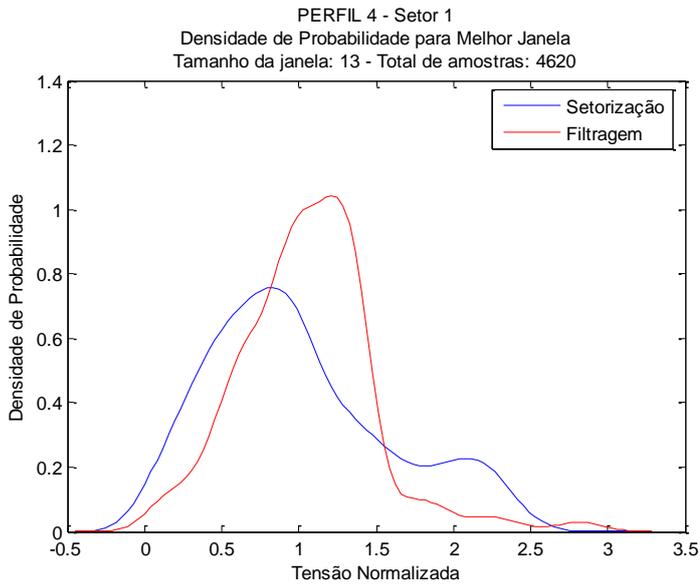
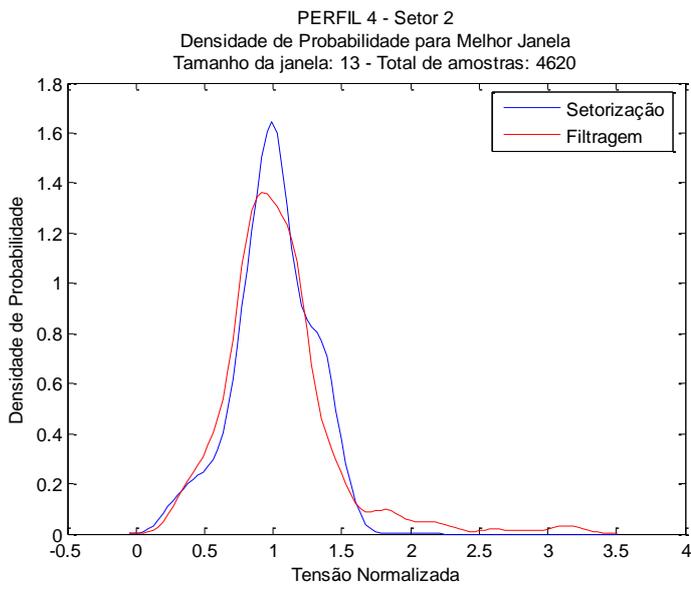


Figura 72: Diferença entre as curvas de densidade.

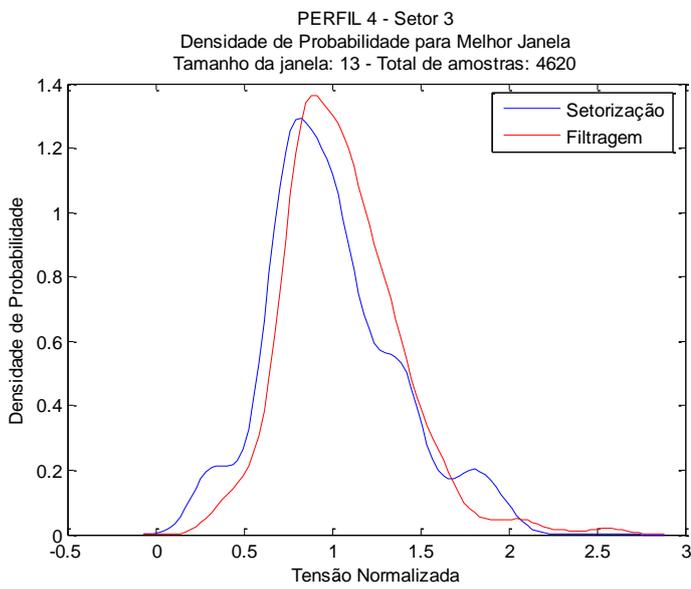
Na Figura 73 da letra (a) até a letra (k) estão os gráficos dos 11 setores com suas respectivas densidades de probabilidade para a melhor janela.



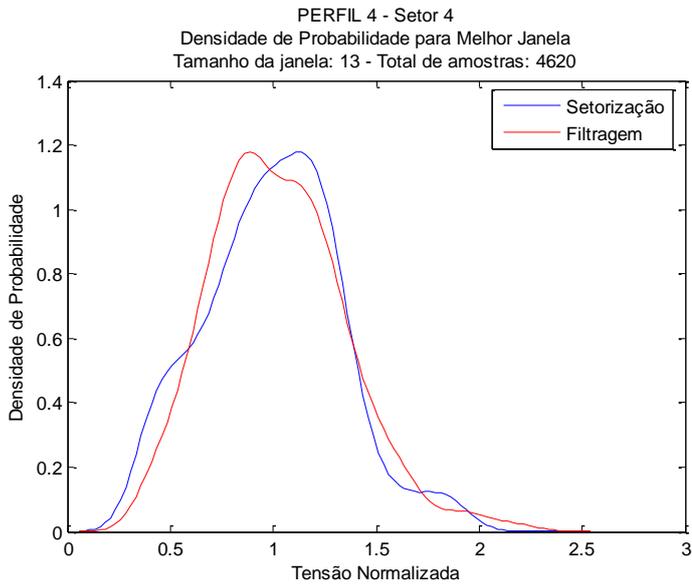
(a)



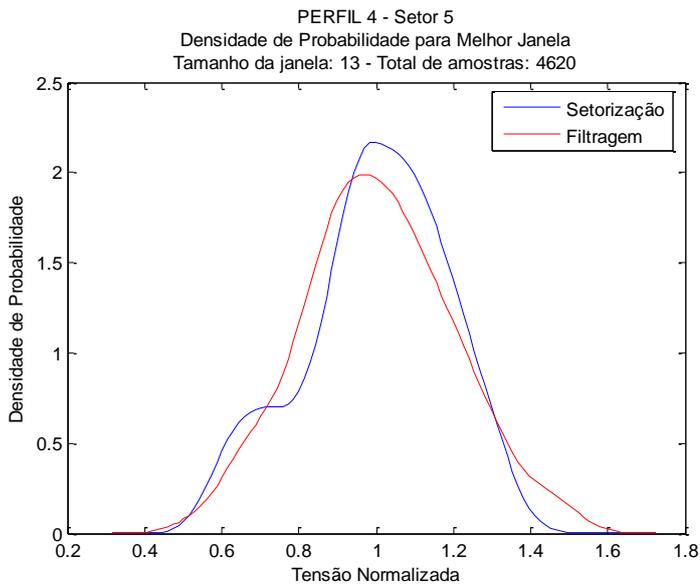
(b)



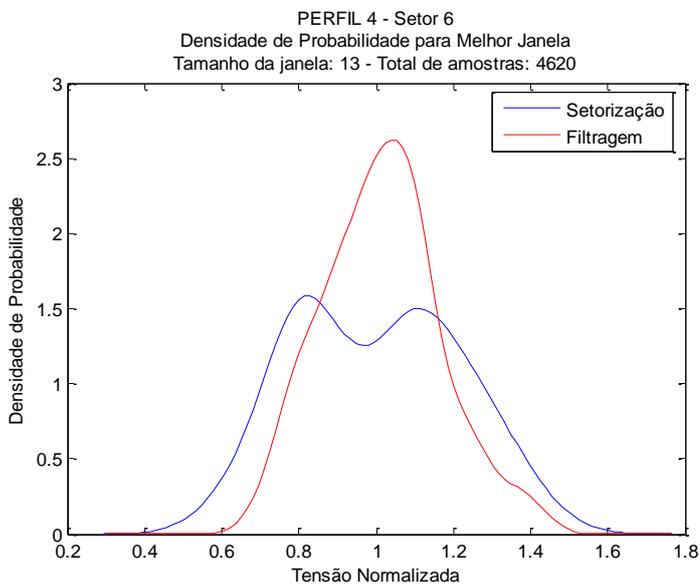
(c)



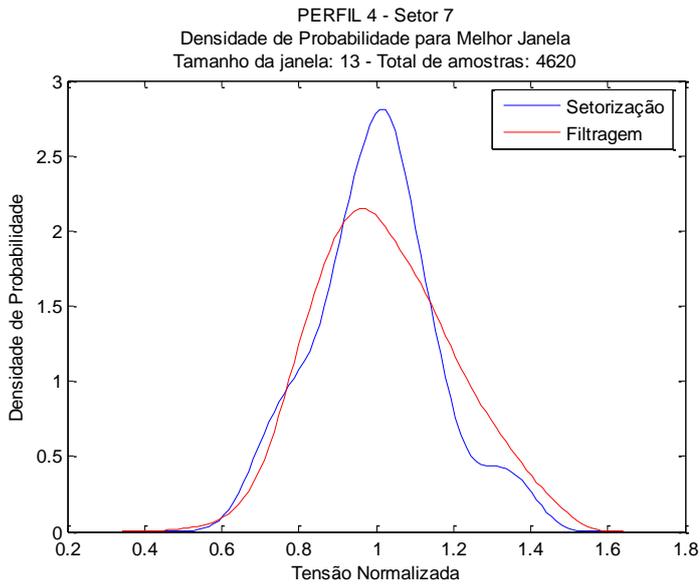
(d)



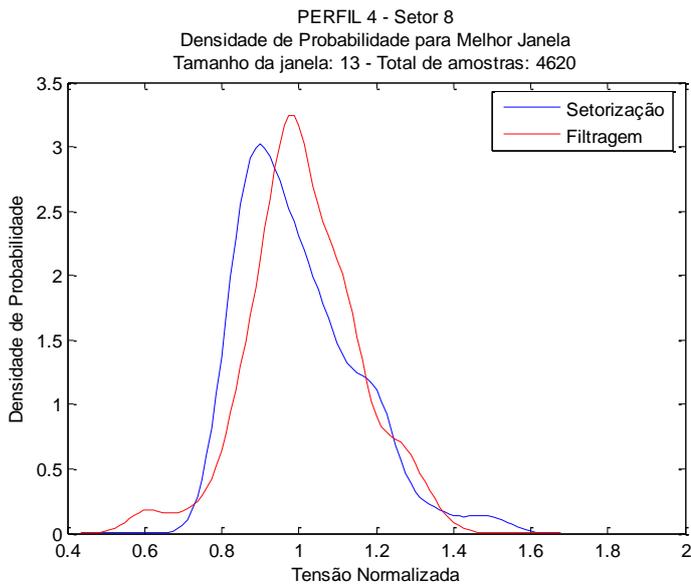
(e)



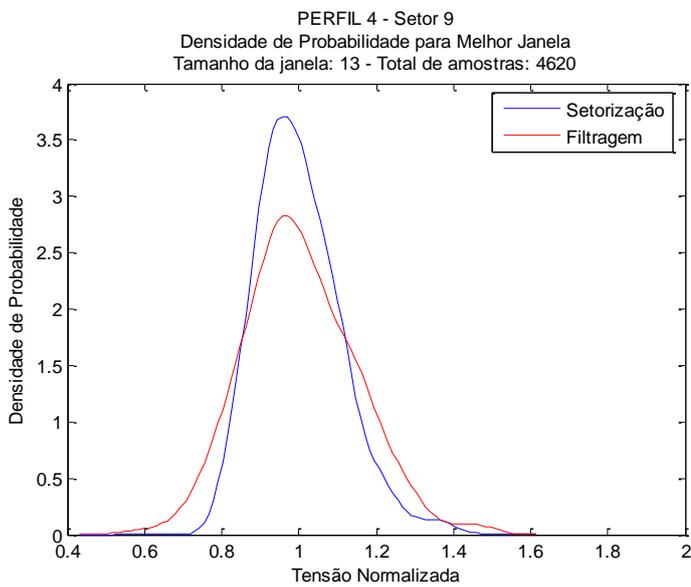
(f)



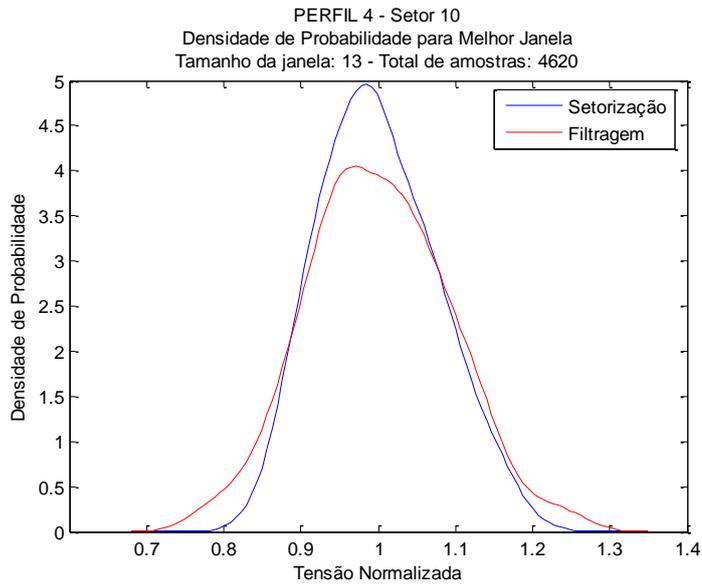
(g)



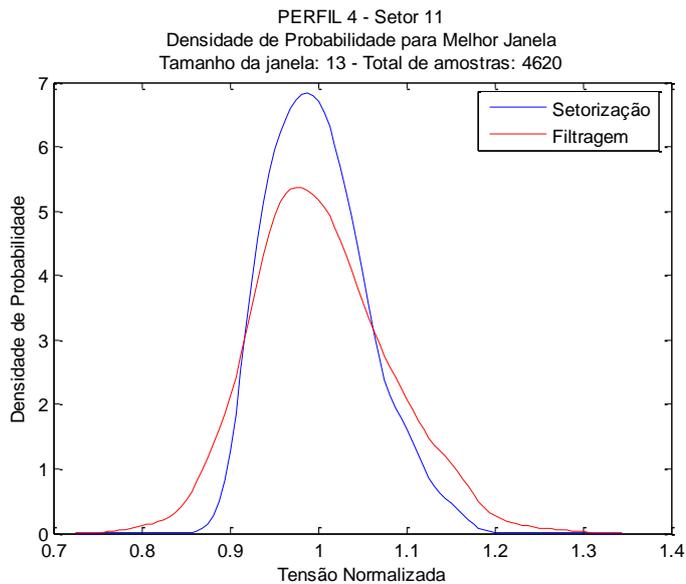
(h)



(i)



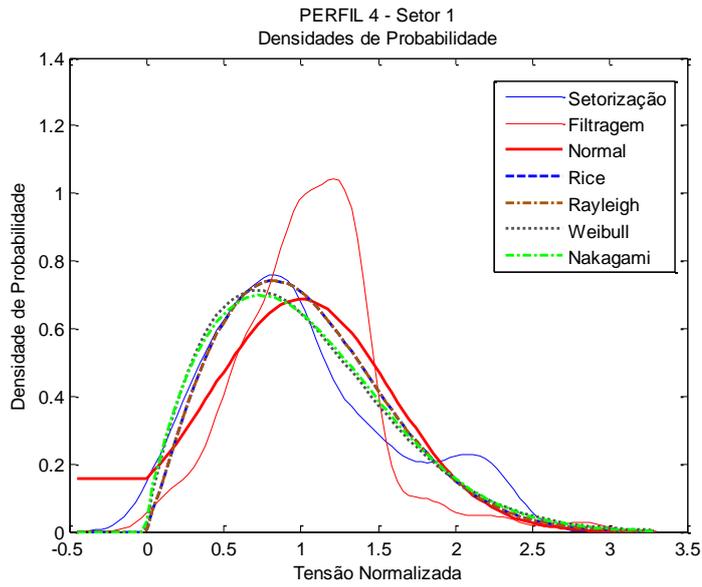
(j)



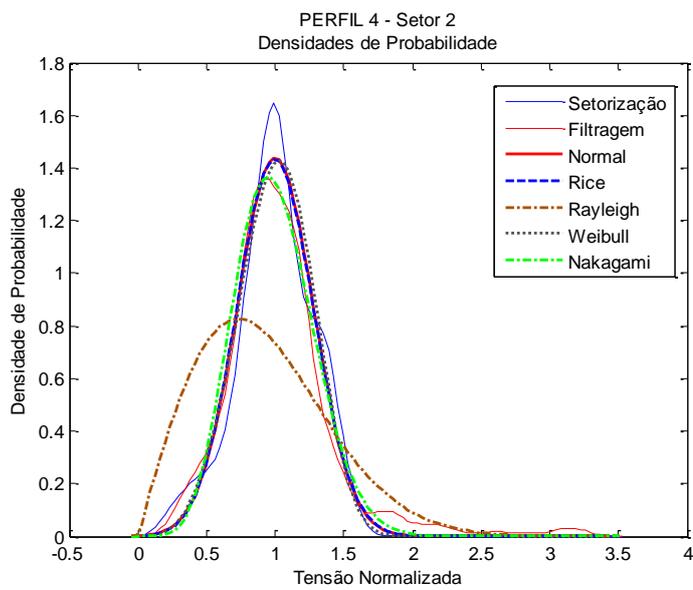
(k)

Figura 73: Densidade de probabilidade perfil 4.

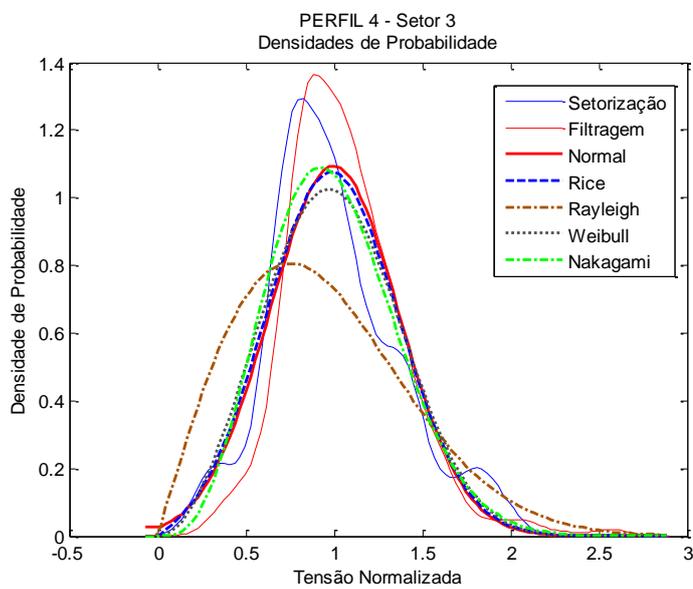
Ainda com os valores de tensão normalizada, deseja-se saber qual é a distribuição estatística que melhor representa o desvanecimento rápido em cada setor. Através das funções *fitdisty* e *ksdensity* do MATLAB são traçadas as distribuições Normal, Rice, Rayleigh, Weibull e Nakagami junto com as distribuições de tensão normalizada da setorização e da filtragem (FMM). Os gráficos podem ser observados na Figura 74 da letra (a) até a letra (k).



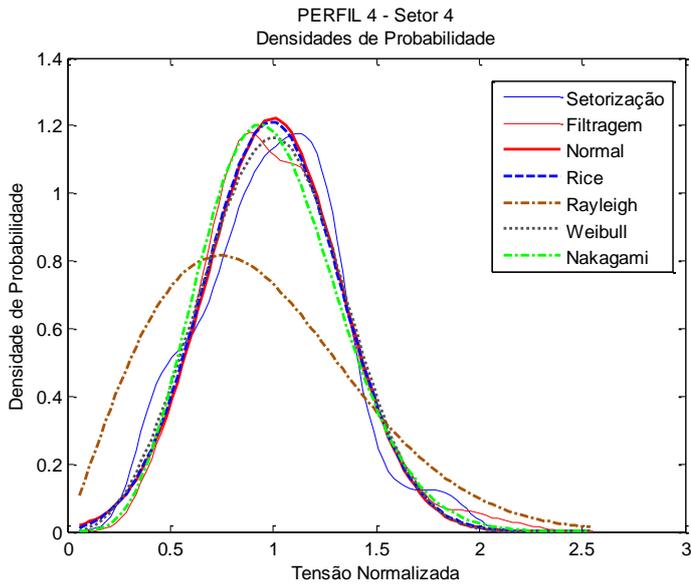
(a)



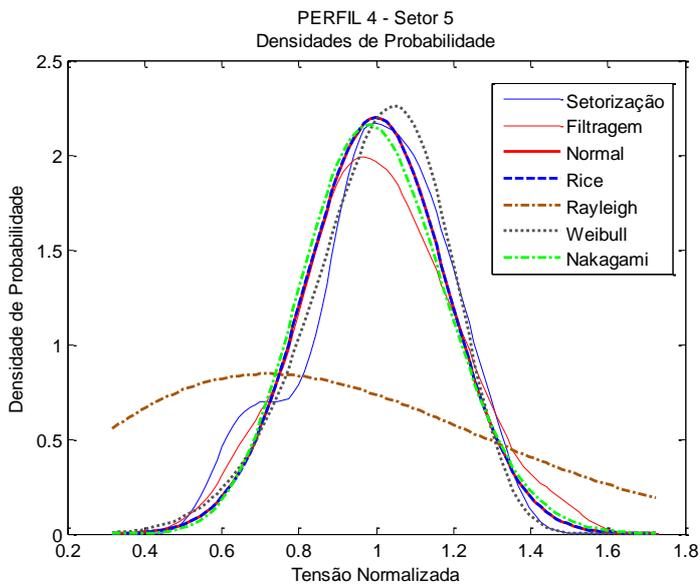
(b)



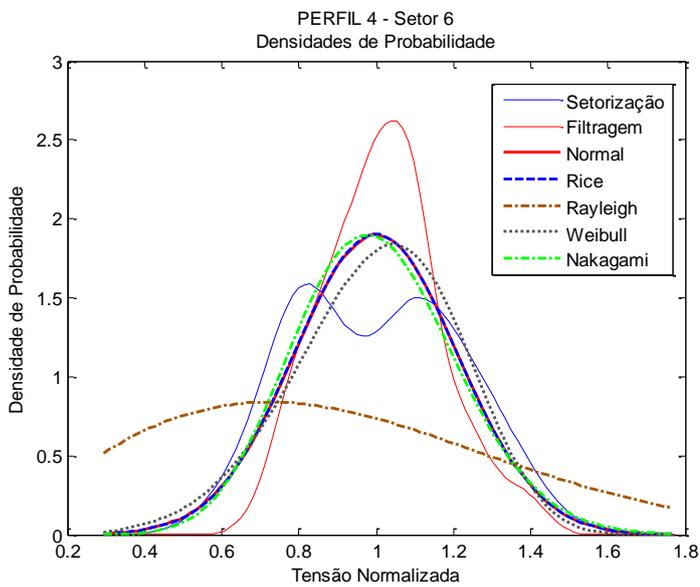
(c)



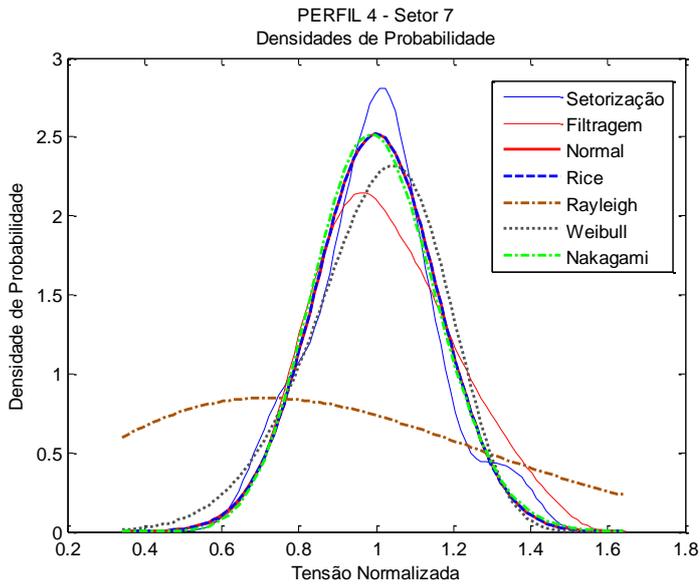
(d)



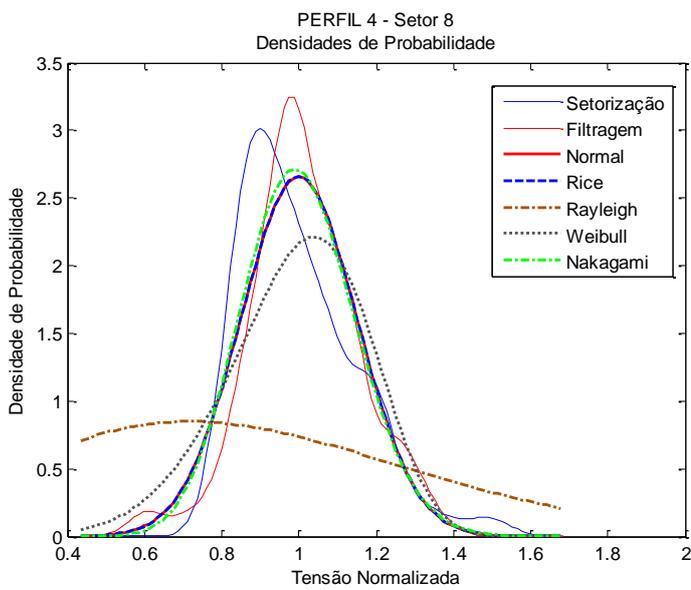
(e)



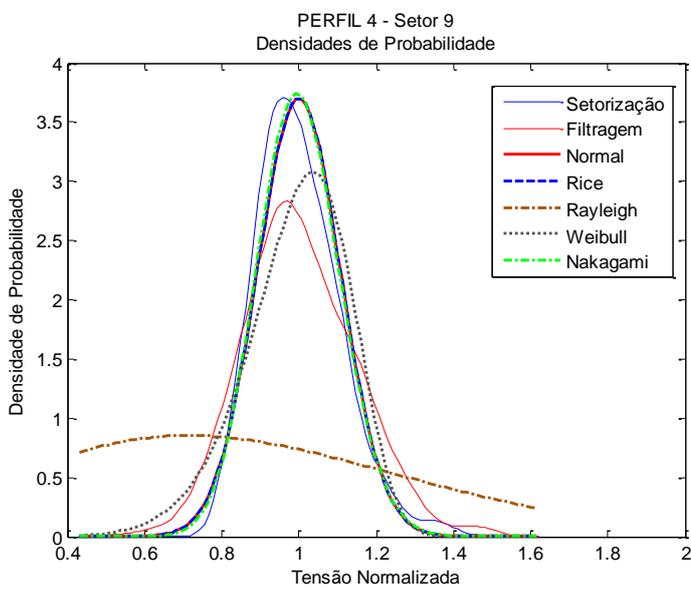
(f)



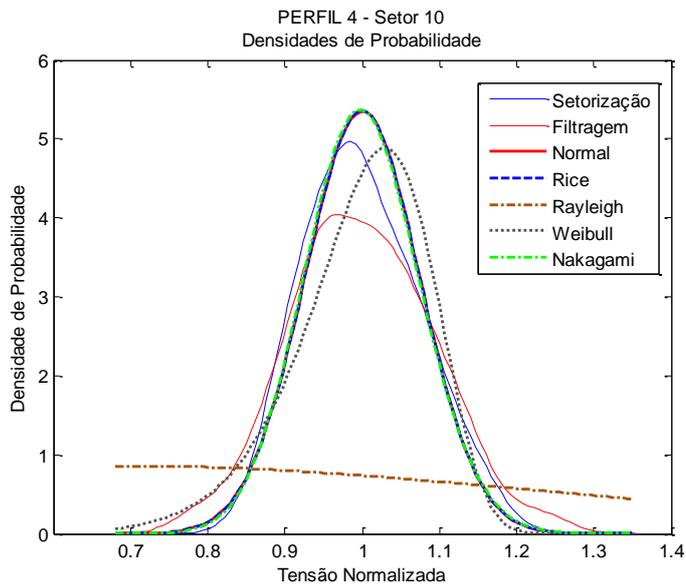
(g)



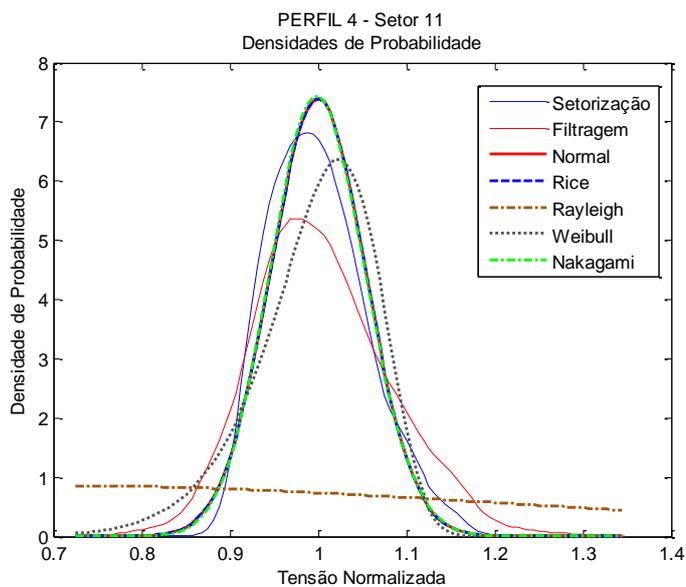
(h)



(i)



(j)



(k)

Figura 74: Ajuste das FDPs associadas às medições dos setores do perfil 4.

A Tabela 6 quantifica a diferença entre a curva de setorização e a respectiva distribuição (Normal, Rice, Weibull, Nakagami e Rayleigh) em cada setor. O mesmo cálculo é feito para a curva de FMM. A numeração de 1 a 5 representa a distribuição de melhor ajuste à distribuição de pior ajuste.

	SETORIZAÇÃO		FMM	
	Distribuição	Diferença	Distribuição	Diferença
SETOR 1	1 Weibull	0.169	Rice	0.411
	2 Nakagami	0.173	Rayleigh	0.411
	3 Rice	0.197	Normal	0.433
	4 Rayleigh	0.197	Nakagami	0.478
	5 Normal	0.334	Weibull	0.484
SETOR 2	1 Normal	0.162	Nakagami	0.149
	2 Rice	0.166	Rice	0.161
	3 Weibull	0.168	Normal	0.163
	4 Nakagami	0.214	Weibull	0.189
	5 Rayleigh	0.662	Rayleigh	0.540
SETOR 3	1 Nakagami	0.200	Normal	0.224
	2 Rice	0.233	Rice	0.240
	3 Weibull	0.242	Nakagami	0.252
	4 Normal	0.246	Weibull	0.279
	5 Rayleigh	0.409	Rayleigh	0.590
SETOR 4	1 Weibull	0.132	Nakagami	0.067
	2 Normal	0.144	Rice	0.073
	3 Rice	0.146	Normal	0.079
	4 Nakagami	0.188	Weibull	0.083
	5 Rayleigh	0.452	Rayleigh	0.475
SETOR 5	1 Weibull	0.117	Nakagami	0.110
	2 Normal	0.162	Normal	0.115
	3 Rice	0.163	Rice	0.116
	4 Nakagami	0.203	Weibull	0.193
	5 Rayleigh	0.772	Rayleigh	0.720
SETOR 6	1 Nakagami	0.221	Rice	0.269
	2 Rice	0.225	Normal	0.270
	3 Normal	0.226	Nakagami	0.276
	4 Weibull	0.227	Weibull	0.328
	5 Rayleigh	0.677	Rayleigh	0.920

	SETORIZAÇÃO		FMM	
	Distribuição	Diferença	Distribuição	Diferença
SETOR 7	1 Normal	0.140	Nakagami	0.164
	2 Rice	0.140	Normal	0.173
	3 Nakagami	0.147	Rice	0.173
	4 Weibull	0.210	Weibull	0.221
	5 Rayleigh	0.812	Rayleigh	0.790
SETOR 8	1 Nakagami	0.252	Nakagami	0.162
	2 Rice	0.279	Normal	0.164
	3 Normal	0.280	Rice	0.164
	4 Weibull	0.400	Weibull	0.289
	5 Rayleigh	0.904	Rayleigh	0.902
SETOR 9	1 Nakagami	0.129	Weibull	0.235
	2 Rice	0.153	Normal	0.312
	3 Normal	0.154	Rice	0.313
	4 Weibull	0.328	Nakagami	0.320
	5 Rayleigh	1.045	Rayleigh	0.861
SETOR 10	1 Nakagami	0.124	Weibull	0.246
	2 Normal	0.134	Normal	0.254
	3 Rice	0.135	Rice	0.255
	4 Weibull	0.277	Nakagami	0.255
	5 Rayleigh	0.938	Rayleigh	0.823
SETOR 11	1 Nakagami	0.163	Weibull	0.326
	2 Normal	0.172	Normal	0.346
	3 Rice	0.172	Rice	0.347
	4 Weibull	0.349	Nakagami	0.347
	5 Rayleigh	1.026	Rayleigh	0.891

Tabela 6: Diferença das distribuições para a setorização e FMM – Perfil 4.

5.4 DESVANECIMENTO EM LARGA ESCALA

As Figuras 75, 76, 77 e 78 mostram os resultados da filtragem de média móvel e da setorização para a obtenção do sinal de variabilidade em grande escala e verifica-se que, embora o sinal resultante da filtragem seja diferente do obtido com a setorização, quando aquele é setorizado, para fins de comparação, os resultados para a média do setor nos dois métodos, praticamente, é a mesma.

Perfil 1

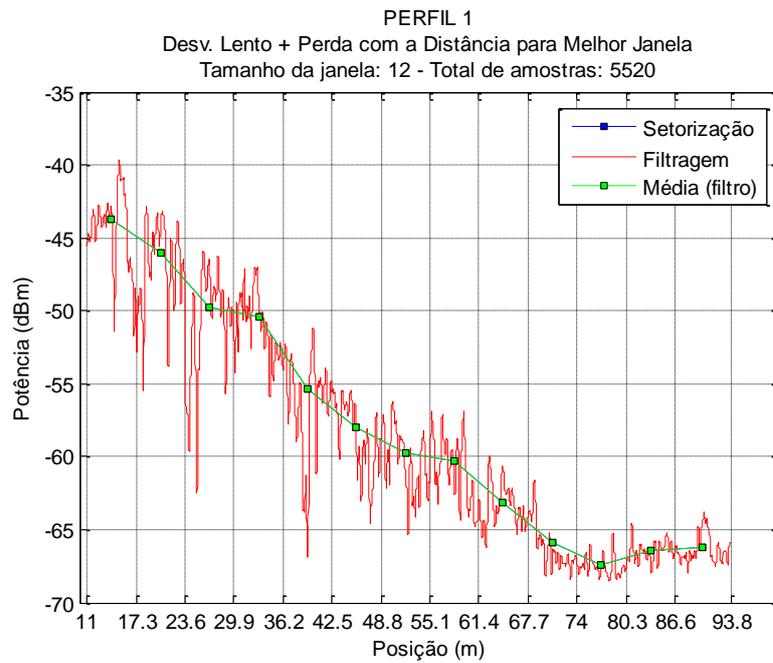


Figura 75: Desvanecimento lento e perda com a distância.

Perfil 2

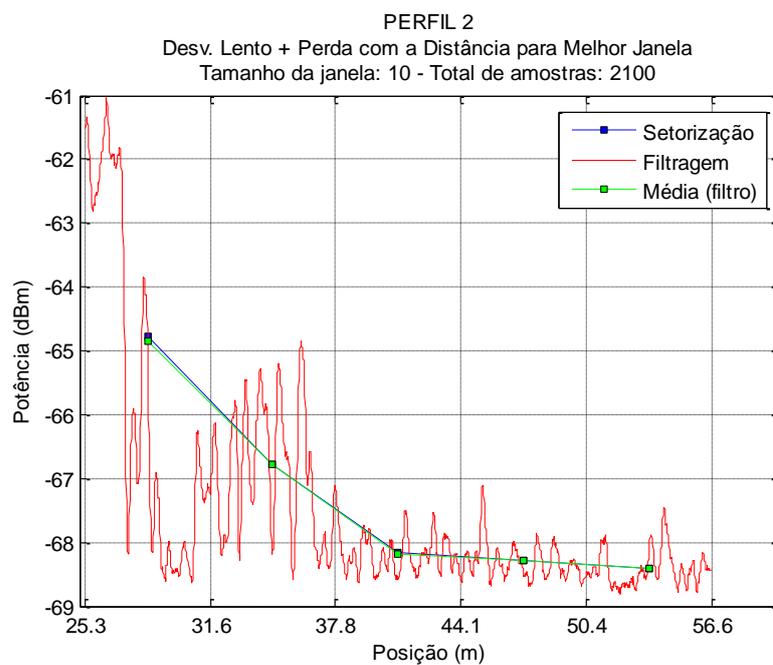


Figura 76: Desvanecimento lento e perda com a distância.

Perfil 3

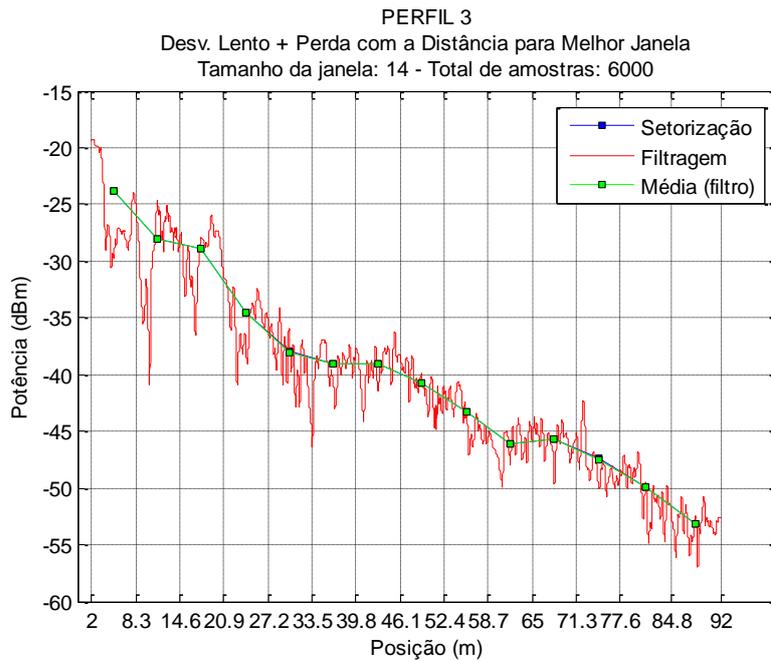


Figura 77: Desvanecimento lento e perda com a distância.

Perfil 4

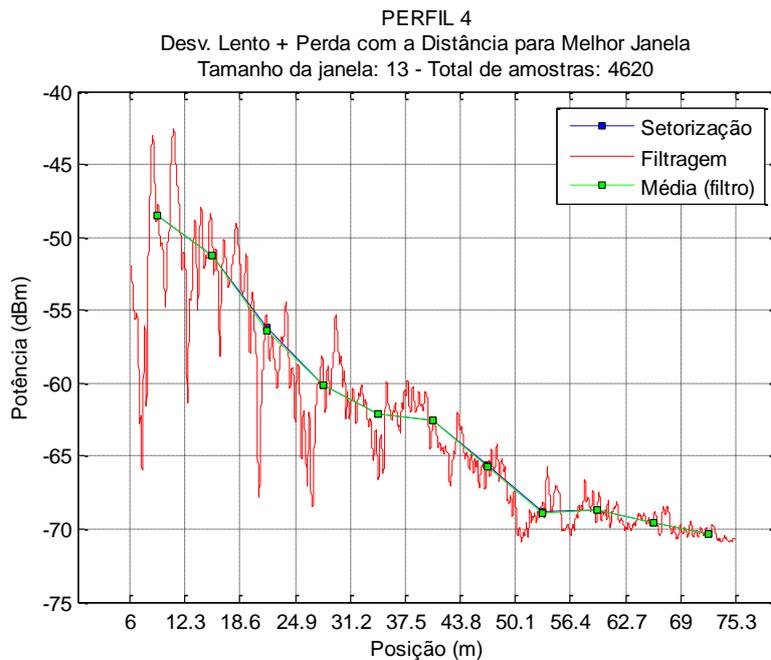


Figura 78: Desvanecimento lento e perda com a distância.

5.5 ANÁLISE POR PERFIL

- **Perfil 1**

Neste perfil, a antena transmissora foi colocada do lado de fora do prédio e o carrinho, com todo o sistema receptor, percorreu o primeiro piso do Bloco E. Foram consideradas as amostras dos 13 primeiros setores, sendo as amostras finais desconsideradas por estarem no patamar de ruído do analisador. O fator de atenuação encontrado foi igual a 3,24, sendo maior que aquele do espaço livre, onde $n = 2$. Medições anteriores em corredores desse mesmo bloco mostraram que este fator era próximo de 2, entretanto, essas medições foram realizadas com o transmissor colocado internamente no corredor e, também, a antena transmissora empregada era omnidirecional, o que levava a uma maior contribuição de multipercursos na envoltória do sinal medido.

Para eliminar a variabilidade rápida do sinal, foram usadas janelas de tamanhos iguais a 420 e 210 amostras para a primeira e segunda janelas, respectivamente. Essa combinação de janelas fez com que os sinais de desvanecimento em grande escala, obtido pelos diferentes métodos, ficassem próximos, como pode ser observado na Figura 51. O mesmo pode ser visto na Figura 53 para o efeito de perda no percurso. O interesse, porém, sendo a estatística de desvanecimento rápido do sinal, buscou-se o tamanho de janela que minimizasse a diferença entre as curvas de densidade de probabilidade do desvanecimento rápido, encontradas pelos dois métodos, e a janela de tamanho igual a 12 amostras foi a encontrada. Isto pode ser observado verificando a proximidade das curvas da Figura 64 da letra (a) até a letra (m).

- **Perfil 2**

Neste perfil, a antena transmissora estava no mesmo local do Perfil 1, mas a estação móvel percorreu o corredor do segundo andar. Foram consideradas amostras dos 5 primeiros setores, já que neste perfil o sinal teve forte atenuação nas paredes e no piso do primeiro para o segundo andar do bloco, apresentando grande presença de ruído. Para este perfil, foi encontrado um fator de atenuação de 1,33, contudo o número de pontos é pequeno ($= 5$) e observa-se uma queda maior relativa aos três primeiros pontos, da ordem de 2,44, o que é mais real, visto que os dois outros estão praticamente no patamar de ruído, devendo ser descartados. Foi usada a janela de tamanho igual a 210 amostras nos dois filtros de média móvel, para eliminar a variabilidade rápida do sinal. O gráfico pode ser visto na Figura 54. O

mesmo pode ser visto na Figura 56 para o efeito de perda no percurso. Sendo de importância a estatística da variabilidade rápida do sinal, o tamanho da janela usada foi igual a 10 amostras, já que este é o que minimiza a diferença entre as curvas de densidade de probabilidade, mostradas na Figura 67 da letra (a) até a letra (e).

- **Perfil 3**

Para este perfil, havia visada entre as estação receptora e transmissora e o sinal ficava confinado no corredor, não havendo a perda para o exterior como no primeiro perfil. Ambas as antenas foram colocadas no quarto andar e todas as amostras foram consideradas nos cálculos, visto o sinal estar acima do patamar de ruído do receptor. Para o fator de atenuação encontrou-se o valor igual a 2,33, mostrando que os multipercursos, de uma forma geral, contribuíram positivamente para o nível de sinal recebido.

Neste perfil, também foram usadas janelas de tamanho igual a 420 e 210 amostras no primeiro e segundo filtros, respectivamente. O resultado pode ser visto na Figura 57, e para o efeito de perda no percurso pode ser vista a Figura 59. A janela de tamanho igual a 14 amostras é a que mais reduz a diferença entre as curvas de densidade de probabilidade, como é visto na Figura 70 da letra (a) até a letra (n), acarretando em melhores estatísticas da variabilidade de sinal.

- **Perfil 4**

O perfil 4 se assemelha ao perfil 3, pelo fato da antena receptora também estar no quarto andar, com a diferença de que a estação transmissora foi colocada no interior do laboratório de eletrônica, fazendo com que houvesse uma parede entre a transmissora e a receptora. Isto fez cair o nível de sinal e, por isso, foram consideradas amostras dos 11 primeiros setores. Foi encontrado um fator de atenuação de 2,63, que é maior que o do perfil 3, explicado pela presença da parede, que deixa as estações sem visada livre.

Foram usadas, para eliminar a variabilidade rápida do sinal, para o primeiro e segundo filtro, janelas de tamanhos iguais a 420 e 210 amostras, respectivamente. As curvas de desvanecimento em grande escala, obtidas pelos diferentes métodos, são mostradas na Figura 60. O mesmo pode ser visto na Figura 62, para o efeito de perda no percurso. Para a análise estatística da distribuição que melhor se ajusta aos dados medidos, encontrou-se um tamanho de janela igual a 13 amostras, que levou à menor diferença entre as curvas de densidade de

probabilidade para o desvanecimento em pequena escala, como se vê na Figura 73 da letra (a) até a letra (k).

Capítulo 6

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram obtidos os três principais efeitos de propagação do sinal rádio móvel, a partir do sinal medido, através de duas formas distintas: pela setorização e pela filtragem de média móvel.

Conclui-se, para o Perfil 1, que houve a predominância da distribuição Nakagami em ambas as técnicas, ficando a distribuição Rice em segundo lugar, com erros muito próximos da Nakagami e ocorrendo em 10 dos 13 setores tomados tanto usando a setorização quanto o FMM. Pode-se, assim, dizer que este canal fica caracterizado como do tipo Rice. Outra observação é que os maiores erros ocorreram com a fdp ajustada do tipo Rayleigh e que eles eram bem diferentes dos obtidos para as outras distribuições (Nakagami, Weibull e Normal), que ficaram próximos, em geral.

No caso do Perfil 2, verifica-se da Tabela 4 que é pequena a diferença entre as distribuições nos setores, excetuando a distribuição Rayleigh, que foi descartada por dar erro bem maior.

Na Tabela 5 pode-se observar, para o Perfil 3, que na metade dos setores (2, 3, 5, 6, 9, 10 e 12) houve concordância no melhor ajuste da distribuição estatística da variabilidade rápida pelas duas técnicas: setorização e FMM. Da mesma forma que no Perfil 1, a distribuição Rayleigh foi a de pior ajuste, enquanto as outras apresentam erros menores. A que predominou foi a distribuição Weibull.

Para o Perfil 4 também se observa uma predominância da distribuição Nakagami, sendo a Rayleigh a de pior ajuste, em geral, como se observa na Tabela 6.

Concluindo o trabalho, para o filtro de média móvel foi observada a importância da escolha do tamanho das janelas, para a análise estatística da variabilidade rápida, onde as mesmas foram tomadas com 12, 10, 14 e 13 termos, respectivamente para os perfis de 1, 2, 3 e 4, portanto, foi suficiente trabalhar com pequenas janelas para se chegar à análise estatística do desvanecimento em pequena escala. Verificou-se que janelas grandes, da ordem de 420 e 210 termos (\cong 420 e 210 amostras), respectivamente para o primeiro e segundo filtros, fornecem as envoltórias de sinal de desvanecimento rápido e lento mais precisas, porém a densidade de probabilidade do desvanecimento em pequena escala obtida pelos dois métodos ficam bem diferentes. Em contrapartida, uma janela pequena, da ordem de 12 termos (\cong 12 amostras), resulta em densidade de probabilidade obtida pelo filtro de média móvel próxima

da densidade de probabilidade obtida pela setorização. E, ainda, observando-se as Figuras 75 a 78, verifica-se que, embora a envoltória do sinal resultante da filtragem com janela de poucos termos seja diferente da obtida com a setorização, quando aquele é setorizado, os resultados para a média do setor nos dois métodos, praticamente, é a mesma, levando à mesma distribuição estatística para o desvanecimento de grande escala.

Como trabalho futuro é sugerida a realização de medições em outros ambientes internos e ambientes externos variados de forma a se atestar o tamanho de janela necessária para a análise estatística dos sinais medidos nos diferentes tipos de canal. Além disso, sugere-se o uso de outros tipos de filtros, como exemplo, o de média móvel ponderada exponencialmente.

REFERÊNCIAS

- [1] **RAPPAPORT, T.S.** *Wireless Communications – Principles and Practice*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1996.
- [2] **YACOUB, Michel Daoud. 1993.** *Foundations of Mobile Radio Engineering*. Boca Raton : CRC Press, 1993
- [3] **VIEIRA, P.A.** *Análise da Resposta em Banda Estreita de um Canal Marítimo na Faixa de 3,5 GHz*. Universidade Federal Fluminense, 2010.
- [4] **S. Stein**, *Fading channel issues in system engineering*, IEEE J. Selected Areas in Commun., vol. 5, no. 2 , pp. 68-69, Feb. 1987.
- [5] **M. D. Yacoub**, *The $\alpha - \mu$ distribution: a general fading distribution*, in Proc. IEEE Inter. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun., vol. 2, pp. 629–633, Sept. 2002.
- [6] **PARSONS, J.D.** *The mobile Radio Propagation Channel*. 2a edição, John Wiley & Sons LTD, 2000.
- [7] **ABDI A., WILLS K., BARGER H.A, ALOUINI M. S. e KAVEH M.** *Comparison of the Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Rayleigh, Rice, and Nakagami Fading Models with Mobile Channel Data*. IEEE VTC 2000, 2000.
- [8] **Recommendation ITU-R P.1057-1.** *Probability distributions relevant to radiowave propagation modelling (1994-2001)*
- [9] **LEE, William C.Y. 1985** . Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio . *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* . Fevereiro de 1985 , pp. 22 - 27 vol. 34.
- . **1993.** *Mobile Communications Design Fundamentals 2ª Edição*. New York : Wiley, 1993.
- . **1982.** *Mobile Communications Engineering*. New York : Mc Graw Hill, 1982.
- [10] **DE MOURA, Matheus Bernardes. 2011.** *Estatística de desvanecimento rápido de sinal rádio móvel em ambientes interiores na faixa de 430 MHz*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói. Projeto Final de Curso (Engenharia de Telecomunicações)
- [11] **MACHADO, DANIEL GOLTARA. 2010.** *Análise Estatística do desvanecimento rápido. Aplicação a um sinal rádio móvel de 1,75 GHz, em ambiente LOS Indoor*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói. Projeto Final de Curso (Engenharia de Telecomunicações)

- [12] **JAVORNIK T., KANDUS G., HROVAT A. e OZIMEK I.** *Comparison of WiMAX coverage at 450MHz and 3.5GHz, Software in Telecommunications and Computer Networks, 2006. SoftCOM 2006. International Conference on.* 29 de Setembro de 2006 - 1º de Outubro de 2006, pp. 71 – 75.
- [13]<http://cadoz.wordpress.com/2011/01/27/wimax-telebras-quer-tecnologia-nacional-para-o-pnbl/>, acessado em 22/10/2012
- [14]<http://insight-laboratoriodeideias.blogspot.com.br/2011/05/telebras-cogita-uso-da-faixa-de-450-mhz.html>, acessado em 22/10/2012
- [15]<http://www.teialivre.com.br/colaborativo/publish/deniseSQ/Telebr-s-quer-chip-do-Ceitec-para-faixa-de-450-MHz.shtml>, acessado em 22/10/2012
- [16]<http://www.abrater.org/2009/08/seminario-cdma-450mhz-tecnologia.html>, acessado em 22/10/2012
- [17] **BERTONI, Henry L. 2000.** *Radio Propagation for Modern Wireless Systems.* New Jersey : Prentice Hall PTR, 2000.
- [18] **LEE, William C.Y. e YEH, Yi S. 1974.** On the estimations of the second-order statistic o log normal fading in mobile radio environment. *Communications, IEEE Transactions on.* Junho de 1974, pp. 809-973.
- [19] **URIE, A.** *Errors in estimating local average power of multipath signals,* Electronics Letters. 14 de Fevereiro de 1991, pp. 315 – 317.
- [20] **YE, Li. 2006.** *Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications.* Atlanta : Springer, 2006.
- [21] **CROW, Edwin L. e SHIMIZU, Kunio. 1988.** *Lognormal Distribution: Theory and Applications.* New York : Marcel Dekker, 1988.
- [22] **YACOUB, Michel Daoud, BAUTISTA, José Edson Vargas e GUEDES, Leonardo Guerra de Rezende. 1999.** On Higher Order Statistics of the Nakagami-m Distribution. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on .* Maio de 1999, pp. 790 - 794.
- [23] **DIAS, Ugo Silva, et al. 2006 .** On the Nakagami-m Autocorrelation and Power. *Telecommunications Symposium, 2006 International .* 3-6 de Setembro de 2006 , pp. 253 - 256 .
- [24] **PAPOULIS, Athanasios. 2001.** *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes.* New York : McGraw-Hill, 2001.
- [25] **GOMES, Renato A. 1999.** *Comportamento do Sinal de Rádio em Ambientes Móveis Microcelulares.* Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro : s.n., 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) .

- [26] **SEIDEL, Scott Y., et al. 1991.** Sing-Path loss, scattering and multipath delay statistics in four European cities for digital cellular and microcellular radiotelephone. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* . de Novembro de 1991, pp. NO. 4, vol. 40.
- [27] **HAYKIN, Simon e MOHER, Michael. 2008.** *Sistemas modernos de comunicações wirelles*. Porto Alegre : Bookman, 2008.
- [28] **JAKES, William C. 1974.** *Microwave Mobile Communications*. New York : Wiley, 1974.
- [29] **PÄTZOLD, Matthias e LAUE, Frank. 1999** . Level-Crossing Rate and Average Duration of Fades of Deterministic Simulation Models for Rice Fading Channels. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* . Julho de 1999 , pp. 1121 - 1129.
- [30] **ANDREWS, Jeffrey G., GOSH, Arunabha e MUHAMED, Rias. 2007.** *Fundamentals of WiMax WiMax : Understanding Broadband Wireless Networking*. New York : Pearson Education, Inc, 2007.
- [31] **MEYER, Paul L. 1976.** *Probabilidade Aplicada a Estatística*. Rio de Janeiro : LTC, 1976.
- [32] **HINES, William W., et al. 2006.** *Probabilidade e estatística na engenharia*. 4ª. Rio de Janeiro : LTC, 2006.
- [33] **PAHLAVAN, Kaveh e LEVESQUE, Allen H. 2005.** *Wireless information networks – 2nd edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, 2005.
- [34] **MEZA, Wilyam David Torres. 2008.** *Análise por simulação do padrão CDMA IS-95*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói : s.n., 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações).
- [35] **ROLIM, T. H. P.; VONO, A. O.; NOVAES, C. D.; GUIMARÃES, D. A. (2002).** *Um Método para Síntese e Análise dos Principais Efeitos de Propagação em Canais de Rádio Móvel*, Revista Telecomunicações – Inatel v.5.01.
- [36] **BARTLE, Robert Gardner.** *The Elements of Integration and Lebesgue Measure*. Wiley, 1995, 192 p. ISBN 0471042226.
- [37] **DE SOUZA, Thiago Muniz. 2011.** *Análise da Cobertura e Variabilidade de Sinal Rádio em um Ambiente Interno na faixa de 1,9 GHz*. Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Niterói. Projeto Final de Curso (Engenharia de Telecomunicações)
- [38] **SIQUEIRA, Gláucio Lima e VÁSQUES, Eduardo J.A. 2000.** Local and Global Signal Variability Statistics in a Mobile Urban environment. *Wireless Personal Communication*. Outubro de 2000, pp. 61-78.

- [39] **NAKAGAMI, Mikio. 1960.** *The m-Distribution - A General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading.* Elmsford : Pergamon Press, 1960.
- [40] **SKLAR, Bernard. 2000.** *Digital Communications: Fundamentals and Applications.* New Jersey : Prentice Hall PTL, 2000.
- . **1997.** Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems. *IEEE Communications Magazine.* Julho de 1997, pp. 90-100 vol.35.
- [41] **PROAKIS, John G. 2000.** *Digital Communications.* 4^a. New York : Mc Graw-Hill, 2000.
- [42] **STUEBER, Gordon L. 2001.** *Principles of Mobile Communication.* Norwell : Kluwer, 2001.

Anexo A

Este anexo mostra os programas utilizados neste trabalho para captura e processamento de dados e está organizado na ordem em que devem ser executados:

- Programa 1 – Programa de leitura de dados de um analisador
- Programa 2 – Relaciona a potência recebida com a posição do móvel.
- Programa 3 – Divide os dados obtidos em setores
- Programa 4 – Separa o desvanecimento rápido do sinal original
- Programa 5 – Calcula o efeito da perda com a distância
- Programa 6 – Realiza primeira filtragem do sinal e encontra o melhor tamanho de janela que minimiza a diferença entre as curvas de densidade de probabilidade dos métodos de setorização e média movente.
- Programa 7 – Calcula a densidade de probabilidade para as distribuições Normal, Rice, Rayleigh, Weibull e Nakagami.
- Programa 8 – Usa dois filtros de média móvel para separar os efeitos de propagação do sinal

Programa 1

```
% *****  
% *****  
  
% Programa de leitura de dados de um analisador de espectro através da  
% placa NI (USB-6210) e do sensor de posição (roda de bicicleta)  
  
% *****  
% *****  
  
% *****  
% Inicialização  
% *****  
clear all;  
close all;  
pack;  
clc;  
fs=60; % Frequencia de amostragem em Hz  
amost_seg=fs; % n vezes amostras por segundo / Taxa de amostragem  
num_seg=1; % Número de segundos de sinal gravado  
repeticoes=1; % Realiza a leitura uma vez + repetições se tiver  
com_ser_AE='';
```

```

dados_AE=[];      % Variável de armazenamento dos dados lidos no Analisador
de Espectro
data=[];
tempo=[];
linha_dados=[];
%linha_dados_1=[];
%Pot_dBm=[];
caminho='C:\Documents and Settings\usuario\Desktop\Matheus\Matheus';
arquivo=[];
filename='';
nome_arq='';
inicia_reg='n';
novo_registro='';
continua_registro=true;
conta_arq_reg=1;
conta_arq_reg_str='';
i=1;
matriz = [];

% *****
% Informações sobre as placas instaladas no computador
% *****

    disp ('Lista de todos os dispositivos instalados!')
    out = daqhwinfo;
    out.InstalledAdaptors
    disp ('Informações sobre a placa da NI a ser utilizada!')
    daqhwinfo ('nidaq')

% *****
% Configura duração de um registro completo e o número de repetições deste
% registro
% *****

num_seg=input('Entre com a duração contínua do registro [10 s]');
if isempty(num_seg)
    num_seg = 10;
end

repeticoes=input('Entre com o número de repetições [1]');
if isempty(repeticoes)
    repeticoes = 1;
end

% *****
% Configura porta USB de comunicação com a placa de Aquisição NI (USB-6216)
% *****

com_usb_ad=input('comunicação com a placa NI DAQCard-AI-16XE-50 ?
[n]','s');
if isempty(com_usb_ad)
    com_usb_ad = 'n';
end

if com_usb_ad=='s'
    ai = analoginput('nidaq','1');
    addchannel(ai,2:3); % addchannel(ai,0:1,{'Analisador Canal 2','Roda da
bicicleta Canal 3'});
    %addchannel(ai,2:3); % Adiciona os canais da placa a serem lidos
(canais 0 e 1)

```

```

% *****
% Definição dos parâmetros de leitura dos dados provenientes da placa NI
% *****

    set(ai, 'SampleRate', fs,...
          'SamplesPerTrigger', num_seg*amost_seg)

    set(ai, 'InputType','SingleEnded');      % Define que a entrada tem como
referência um terra comum (ground)
    set(ai, 'TriggerType', 'manual');        % Define o Trigger como manual
    set(ai, 'TriggerRepeat', repeticoes);    % Define que o Trigger manual
também ocorre para as repetições

    else

end

% *****
% Cria arquivo para gravação dos dados
% *****

fid=0;
while fid < 1
    filename=input('Entre com o nome do arquivo [trechon]: ', 's');
    if isempty(filename)
        filename = 'trecho'; % Nome padrão do arquivo caso não entre com
% um nome de arquivo
    end

    conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
    nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str);

    [fid,message] = fopen(filename, 'a');
    if fid == -1
        disp(message);
    end
end

% *****
% Inicia loop para fazer diversos registros
% *****

while continua_registro==true
    tic

    % *****
    % Inicializa interface de comunicação com a placa AD da NI
    % *****

    if com_usb_ad=='s'
        start(ai);
    end

        if com_usb_ad=='s'
            trigger(ai); % Disparo da leitura dos dados
            pelo Trigger manual
            [data,time1] = getdata(ai); % Leitura dos dados
            dados_AE=[dados_AE;data]; % Concatena dados lidos na
horizontal

```

```

                tempo=[tempo;time1];                % Concatena tempo lidos na
horizontal
                end

% *****
% Concatena lado a lado tempo e dados do AE
% *****

linha_dados=[tempo dados_AE];

% *****
% Converte nível do sinal de volts
% para nível do sinal em dBm
% *****

for i=1:num_seg*amost_seg

    linha_dados(i,4) = 76.424*(abs(linha_dados(i,2))) + (- 74.431);

    %linha_dados(i,4) = 10*log10(abs(((linha_dados(i,2))^2)/50) + 30;

% *****
% Concatena lado a lado tempo, dados do AE, do sensor de
% posição (roda) e do sinal convertido de volts para dBm
% *****

end

% *****
% *** Desenha gráficos ***
% *****

% subplot(2,1,1); plot(linha_dados(1:num_seg,2:3), 'DisplayName',...
% 'linha_dados(1:num_seg,2:3)', 'YDataSource',...
% 'linha_dados(1:num_seg,2:3)');

    subplot(2,1,1); plot(linha_dados(1:num_seg*fs,2:3), 'DisplayName',...
'linha_dados(1:num_seg,3)', 'YDataSource',...
'linha_dados(1:num_seg,3)');

figure(gcf)
%hold on
grid on
zoom on;
title('Variação do sinal em Volts do Analisador de Espectro e do
Sensor de posição');
xlabel('Numero de amostras em 100 s');
ylabel('Tensão (V)');
%hold off
%refresh

subplot(2,1,2); plot(linha_dados(1:num_seg*fs,4), 'DisplayName',...
'linha_dados(1:num_seg,4)',
'YDataSource','linha_dados(1:num_seg,4)');

figure(gcf)

```

```

hold on
grid on
zoom on;
title('Sinal recebido do Analisador convertido para`dBm');
xlabel('N de amostras em 100 s');
ylabel('Nível de Potência (dBm)');
hold off
%refresh

% *****
% *** Grava arquivo ***
% *****

conta_arq_reg_str=num2str(conta_arq_reg);
nome_arq=strcat(caminho,filename,conta_arq_reg_str);
save (nome_arq, 'linha_dados'); % Salva variáveis dos dados lidos no
arquivo

% *****
% Reinicializa variáveis
% *****

%linha_dados=[];
dados_AE=[];
tempo=[];
%Pot_dBm=[];

% *****
%% %% Interrompe interface da placa AD da NI %% %%
% *****

% *****
% Interrompe interface da placa AD da NI
% *****

if com_usb_ad=='s'
    stop(ai);
end

% *****
% Verifica se haverá novo registro
% *****
%
novo_registro=input('Realizar novo registro [s]: ', 's');
if isempty(novo_registro)
    continua_registro=true;
    % -----
    % Configura duração de um registro completo e número de repetições
    alt_dur_rep=''; % Inicializa variável com vazio
    alt_dur_rep=input('Alterar duração e repetição [n]','s');
    if isempty(alt_dur_rep)
        % não faz nada
    else
        num_seg=input('Entre com a duração do registro [60 s]');
        if isempty(num_seg)
            num_seg = 60;
        end
        %
        repeticoes=input('Entre com o número de repetições [5]');

```

```

                % É o número de vezes que o registro será efetuado e onde serão
pegos
                % os dados de posição
                if isempty(repeticoes)
                    repeticoes = 5;
                end

            end
            % -----
        else
            continua_registro=false;
        end
        %
        % Incrementa sufixo do nome do arquivo
        % -----
        conta_arq_reg=conta_arq_reg+1;
        %
        toc
    end

% *****
% *** Fecha interfaces e objetos***
% *****

fclose(fid); % fecha o arquivo
clear fid; % Apaga objeto do arquivo

% *****
%% Elimina objetos das interfaces da placa AD da NI %%
% *****

% *****
% Elimina objetos da interface da placa AD da NI
% *****

if com_usb_ad=='s'
    delete(ai);
end

% *****
% *** Final do programa ***

```

Programa 2

```

% -----
% Programa: relaciona_potencia_e_posicao.m
% -----
% Conta os pulsos gerados pelo sensor de posição e
% relaciona potência recebida à posição do móvel.
% -----
% Arquivo de entrada: linha_dados.mat
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa aquisicao.m
% -----
% Arquivo de saída 1: linha_dados.mat
% O arquivo é atualizado pelo programa corrente.
%
% Arquivos de saída 2:
% A figura gerada pelo programa é armazenada no diretório corrente.
% -----

```

```

clear all
close all
clc

% Carrega arquivo "linha_dados" do diretório corrente
load linha_dados.mat;

cont=0;
pulso=0;
num_voltas=0;
distancia_percorrida=0;

for i = 1:6000
    if linha_dados(i,3) < 0.25
        linha_dados(i,5) = 0;
        cont=0;
    else
        linha_dados(i,5) = 1;
        cont = cont + 1;
        if cont == 1 % número de "1s" seguidos para computar um pulso
            pulso = pulso + 1;
        end
    end
end

num_voltas = pulso / 12;

distancia_percorrida = num_voltas*1.55;

% coluna adicional que informa a posição do móvel...
% ...segundo a equação: posicao = velocidade x tempo
tempo = 100; % tempo considerado em segundos
velocidade = distancia_percorrida/tempo; % velocidade do móvel em m/s

perfil = input('Informe o perfil de medição desejado (1, 2, 3 ou 4): ');

switch perfil
    case 1
        So = 11; % posição inicial
        for i = 1:6000 % amostras referentes ao intervalo de 0 a 100 seg.
            linha_dados(i,6) = So + velocidade*(linha_dados(i,1));
        end
    case 2
        So = 25; % posição horizontal inicial em metros
        h = 4; % altura em metros
        for i = 1:6000 % amostras referentes ao intervalo de 0 a 100 seg.
            % Posição horizontal do móvel:
            S_horiz(i,1) = So + velocidade*(linha_dados(i,1));
            % Distância real do móvel à antena transmissora:
            linha_dados(i,6) = sqrt((S_horiz(i,1))^2 + h^2);
        end
    case 3
        So = 2; % posição inicial
        for i = 1:6000 % amostras referentes ao intervalo de 0 a 100 seg.
            linha_dados(i,6) = So + velocidade*(linha_dados(i,1));
        end
    case 4
        So = 6; % posição inicial
        for i = 1:6000 % amostras referentes ao intervalo de 0 a 100 seg.

```

```

        linha_dados(i,6) = So + velocidade*(linha_dados(i,1));
    end
    otherwise
        disp('Execute o código novamente com um valor correto de perfil.')
end

dist_percorrida_no_trecho = linha_dados(6000,6) - linha_dados(1,6);

% gráfico Potência x Posição para 40v/lambda
figure('Color',[1 1 1])
plot(linha_dados(1:6000,6),linha_dados(1:6000,4));
grid on
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title(sprintf('PERFIL %d', perfil);'Potência Recebida'})
% Salva a figura no diretório corrente
saveas(gcf,['Prx_perfil_' num2str(perfil) '.fig'])
saveas(gcf,['Prx_perfil_' num2str(perfil) '.bmp'])
saveas(gcf,['Prx_perfil_' num2str(perfil) '.emf'])

% Salva variável "linha_dados" no diretório corrente
save('linha_dados.mat', 'linha_dados')

```

Programa 3

```

% -----
% Programa: setoriza.m
% -----
% Divide os dados das medições em setores.
% -----
% Arquivo de entrada: linha_dados.mat
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa aquisicao.m e
% atualizado por relaciona_potencia_e_posicao.m
% -----
% Arquivo de saída 1: setor.mat
%
% Arquivo de saída 2: Setores_divisao.txt
% -----

clear all;
close all;
clc;

% Carrega arquivo "linha_dados" do diretório corrente
load linha_dados.mat;

% Dados iniciais

% Taxa de amostragem utilizada na aquisição de dados
% (essa taxa corresponde a 40v/lambda)
amos_por_s = 60; % amostras por segundo
tempo_tot = 100; % tempo total da medição (em s)

% Taxa escolhida para análise (necessário ser divisor de 40)
taxa_em_v_por_lambda = 40; % taxa de amostragem (em v/Lambda)

disp('');
disp('Tempo total da medição (em s): '); disp(tempo_tot);

```

```

disp('Taxa de amostragem (em v/Lambda): '); disp(taxa_em_v_por_lambda);
taxa_para_analise = amos_por_s / (40/taxa_em_v_por_lambda);
disp('Amostras por segundo para análise: '); disp(taxa_para_analise);
num = taxa_para_analise; % Para o código ficar mais legível

for i=1:length(linha_dados)
    potencia(i) = linha_dados(i,4);
end
potencia = potencia';

% Coleta amostras dos dados acima para a taxa desejada
for i=1:(length(linha_dados)/(40/taxa_em_v_por_lambda))
    amostras_novo(i)=potencia((40/taxa_em_v_por_lambda)*(i-1)+1);
end
amostras_novo=amostras_novo';

% Divide em setores
% (obs.: "floor" é para evitar qualquer valor que não seja inteiro)

cont = 1;
% a: instante inicial do setor
a = 0;
fprintf('\nInstante inicial do %do setor: 0 segundo',cont)
% b: instante final do setor
b = input(sprintf('\nInforme o instante final do %do setor: ', cont));

fileID = fopen('Setores_divisao.txt','w');

while (b*num <= length(potencia))

    for i=floor(a*num+1):floor(b*num)
        setor(cont).potencia(i-floor(a*num))=amostras_novo(i);
    end

    fprintf(fileID,'Setor %d: (%d-%ds)\r\n', cont,a,b);

    cont = cont + 1;

    % instante inicial do novo setor igual ao...
    %...instante final do setor anterior
    a = b;
    b = input(sprintf('\nInforme o instante final do %do setor: ', cont));
    if b*num > length(potencia)
        fprintf('Não foi possível criar o %do setor.\n', cont)
    end

end

fclose(fileID);

numero_setores = cont - 1;
fprintf('\nTotal de setores criados: %d\n\n',numero_setores)

% Transforma vetor linha em vetor coluna
for j = 1:numero_setores
    setor(j).potencia=setor(j).potencia';
end

```

```
% Salva variável "setor" no diretório corrente
save('setor.mat', 'setor')
```

Programa 4

```
% -----
% Programa: separa_desv_rap.m
% -----
% Separa desvanecimento rápido do sinal total.
% -----
% Arquivo de entrada 1: setor.mat
% Arquivo gerado pelo programa setoriza.m
%
% Arquivo de entrada 2: linha_dados.mat
% O arquivo de entrada 2 foi gerado pelo programa aquisicao.m e
% atualizado por relaciona_potencia_e_posicao.m
% -----
% Arquivo de saída 1: setor.mat
%
% Arquivos de saída 2:
% As figuras geradas pelo programa são armazenadas no diretório corrente.
% -----
% Observação: para o cálculo do desvanecimento rápido, este programa
% pode ser usado para qualquer taxa escolhida definida pela variável
% taxa_em_v_por_lambda no programa setoriza.m.
% No entanto, não se pode utilizá-lo para análise do desvanecimento lento
% (a não ser na taxa de aquisição de dados),
% pois a posição do móvel é carregada de acordo com o arquivo
% linha_dados.mat, onde este não é atualizado pelo programa citado.
% Por exemplo, se a taxa de amostragem de análise for metade daquela
% usada na aquisição dos dados, deve-se excluir as linhas alternadamente.
% -----

clear all;
close all;

% Carrega arquivo "linha_dados" e "setor" do diretório corrente
load linha_dados.mat;
load setor.mat;

perfil = input('Informe o perfil de medição desejado (1, 2, 3 ou 4): ');

% Separação do desvanecimento rápido
% sinal recebido = perda com a distância + desv. lento + desv. rápido
% em escala logarítmica.
R=50; % impedância em ohms
for j = 1:length(setor)
    setor(j).miliwatts = 10.^(setor(j).potencia/10);
    % perda com a distância + desvanecimento lento = ...
    % ... média do sinal recebido em cada setor
    setor(j).media_miliwatts = mean(setor(j).miliwatts);
    setor(j).media_setor = 10*log10(setor(j).media_miliwatts);
    % normalização pela média do sinal recebido (desv. rápido)
    setor(j).potencia_norm = setor(j).miliwatts/setor(j).media_miliwatts;
    % desvanecimento rápido em dB:
    setor(j).potencia_norm_dB = 10*log10(setor(j).potencia_norm);

    setor(j).milivolts = 1000*sqrt(setor(j).miliwatts*0.001*R);
```

```

    setor(j).media_milivolts = mean(setor(j).milivolts);
    % desvanecimento rápido em volts:
    setor(j).volts_norm = setor(j).milivolts/setor(j).media_milivolts;
end

% Carrega na variável "setor" a posição do móvel

inicio = 1;

for j=1:length(setor)
    % Cada setor tem suas correspondentes posições inicial e final
    % na variável linha_dados.mat
    p_inicial = inicio;
    p_final = inicio + length(setor(j).potencia) - 1;
    % Carrega posição do móvel na variável "setor"
    for i = 1:length(setor(j).potencia)
        setor(j).posicao(i,1) = linha_dados(i+p_inicial-1,6);
    end
    %setor(j).posicao=setor(j).posicao';
    % O ponto médio do setor está na amostra de número:
    ponto_medio = inicio + fix((p_final - p_inicial)/2);
    % Posição do ponto médio do setor
    setor(j).x_medio = linha_dados(ponto_medio,6);

    inicio = inicio + length(setor(j).potencia);
end

% Carrega desvanecimento rápido e posição ao longo dos setores...
% ... (auxilia na plotagem)
rapido=[];
for j=1:length(setor)
    % concatena vetores coluna
    rapido=cat(1,rapido,setor(j).potencia_norm_dB);
end
posicao=[];
for j=1:length(setor)
    posicao=cat(1,posicao,setor(j).posicao);
end

% Plota desvanecimento rápido

figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,rapido)
grid on
for j=1:length(setor)
    tick(j) = setor(j).posicao(1); %posição das linhas de grade horizontais
end
tick(j+1) = setor(j).posicao(length(setor(j).posicao));
% linhas de grade horizontais delimitam os setores
% round(10*tick)/10 -> arredonda tick para uma casa decimal
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
title(sprintf('PERFIL %d', perfil);'Desvanecimento Rápido')
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dB)');
% Salva a figura no diretório corrente
saveas(gcf,'Desv_rap.fig')
saveas(gcf,'Desv_rap.bmp')
saveas(gcf,'Desv_rap.emf')

```

```

% gráfico Potência x Posição para 40v/lambda

amostras=0;
for j=1:length(setor)
    amostras = amostras + length(setor(j).potencia);
end
figure('Color',[1 1 1])
plot(linha_dados(1:amostras,6),linha_dados(1:amostras,4));
hold on

% Carrega posição do ponto médio e desvanecimento lento
for i=1:length(setor)
    x(i) = setor(i).x_medio;
end

% Plota média dos setores
for j=1:length(setor)
    x(j)=setor(j).x_medio;
    y(j)=setor(j).media_setor;
end
plot(x,y,'-rs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',3)
legend('Sinal recebido','Média de cada setor')
legend('Location','Best')
grid on
% linhas de grade horizontais delimitam os setores
% round(10*tick)/10 -> arredonda tick para uma casa decimal
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Potência Recebida e Média dos Setores'})
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');

hold off

% Salva a figura no diretório corrente
saveas(gcf,'Desv_rap_e_media_setores.fig')
saveas(gcf,'Desv_rap_e_media_setores.bmp')
saveas(gcf,'Desv_rap_e_media_setores.emf')

figure('Color',[1 1 1])
plot(linha_dados(1:amostras,6),linha_dados(1:amostras,4));
grid on
% linhas de grade horizontais delimitam os setores
% round(10*tick)/10 -> arredonda tick para uma casa decimal
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Potência Recebida'})
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');

% Salva a figura no diretório corrente
saveas(gcf,'Potência Recebida.fig')
saveas(gcf,'Potência Recebida.bmp')
saveas(gcf,'Potência Recebida.emf')

%Salva variável "setor" no diretório corrente
save('setor.mat', 'setor')

```

Programa 5

```
% -----  
% Programa: perda_dist.m  
% -----  
% Calcula o expoente de atenuação "n" estimado para o ambiente.  
% -----  
% Arquivo de entrada: setor.mat  
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa setoriza.m  
% e atualizado por separa_desv_rap.m  
% -----  
% Arquivo de saída 1: setor.mat  
%  
% Arquivo de saída 2: Equacao_Pr.x.txt  
%  
% Arquivos de saída 3:  
% As figuras geradas pelo programa são armazenadas no diretório corrente.  
% -----  
  
clear all  
close all  
  
% Carrega variável "setor" do diretório corrente  
load setor.mat;  
  
perfil = input('Informe o perfil de medição desejado (1, 2, 3 ou 4): ');  
  
% Número de setores a considerar no cálculo da potência estimada  
num_setores = input(...  
    'Digite o núm. de setores a considerar no cálculo da pot. estimada: ');  
  
% Carrega posição do móvel (distância percorrida)  
% e potência recebida ao longo dos setores  
posicao=[];  
for j=1:num_setores  
    % concatena vetores coluna  
    posicao=cat(1,posicao,setor(j).posicao);  
end  
Prx=[];  
for j=1:num_setores  
    % concatena vetores coluna  
    Prx=cat(1,Prx,setor(j).potencia);  
end  
  
% Equação da potência recebida:  
%  $Prx = Pd0 - 10*n*\log_{10}(d/d0)$   
% Busca-se estimar "n" na equação acima  
% Aproxima-se Prx a uma reta pelo Método dos Mínimos Quadrados  
%  $y = b + ax$ , onde  $a < 0$   
% b intercepta y e representa a potência na distância d0 (1 metro)  
% a =  $10*n$  é a inclinação da reta e n é o fator de atenuação  
  
% Carrega posição do móvel no ponto médio dos setores  
% e sua respectiva média do setor (desv. lento + perda com a distância).  
for i=1:num_setores  
    x(i,1)=setor(i).x_medio;  
    y(i,1)=setor(i).media_setor;  
end
```

```

% Ajuste da reta de potência (posição em escala logarítmica)
% levando em conta apenas a perda com a distância e o desvanecimento lento
%  $y = b + ax$ 
x_log = log10(x);
% Notar que  $a < 0$ , pois foi estimado
% a partir da potência recebida, e esta apresenta queda com a distância.

coeficientes = polyfit(x_log,y,1);
% a = coeficientes(1) (coeficiente angular)
% b = coeficientes(2) (coeficiente linear)

% Exponente de atenuação no percurso
n = (-coeficientes(1)/10);
Prx_d0 = coeficientes(2); % potência recebida à distância d0 (1 metro)

fileID = fopen('Equacao_Prux.txt','w');
fprintf(fileID, ' Equação da potência recebida:\r\n\r\n');
fprintf(fileID, '\t Prx = %1.2f - 10*%1.2f*log(d)\r\n',Prx_d0,n);
fprintf(fileID,...
        '\r\n Fator de atenuação no percurso: \r\n\r\n \t n = %1.2f \r\n',n);
fclose(fileID);
type('Equacao_Prux.txt')
%disp(' Equação da potência recebida:')
%fprintf('\n\t Prx = %1.2f - 10*%1.2f*log(d)\n',Prx_d0,n)
%fprintf('\n Fator de atenuação no percurso: \n\n \t n = %1.2f \n',n)

% Potência estimada no ponto médio dos setores
prx_estimada_ponto_medio = polyval(coeficientes,x_log);

% Gráfico da potência estimada

% Carrega posição do móvel nas fronteiras dos setores
for j=1:num_setores
    tick(j)=log10(setor(j).posicao(1));
end
tick(j+1) = log10(setor(j).posicao(length(setor(j).posicao)));

figure('Color',[1 1 1])
plot(x_log,prx_estimada_ponto_medio,'r','LineWidth',2)
% linhas de grade horizontais delimitam os setores
% round(100*tick)/100 -> arredonda tick para duas casas decimais
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(100*tick)/100)
xlabel('Distância Percorrida (m) em escala logarítmica')
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);'Potência Recebida Estimada';...
        sprintf('Fator de atenuação: n = %1.2f', n)})

hold on
plot(x_log,y,'s','MarkerEdgeColor','k',...
     'MarkerFaceColor','r','MarkerSize',4)
hold off
saveas(gcf,'pot_estimada_log.fig')
saveas(gcf,'pot_estimada_log.bmp')
saveas(gcf,'pot_estimada_log.emf')

```

```

% Potência estimada ao longo do percurso
% de acordo com a reta de ajuste de potência
% posicao_log = log10(posicao);
% Prx_est = polyval(coeficientes,posicao_log);
Prx_est = Prx_d0 - 10*n*log10(posicao);

% Gráfico da potência estimada superposto ao da potência recebida

% Carrega posição do móvel nas fronteiras dos setores
for j=1:num_setores
    tick(j)=setor(j).posicao(1);
end
tick(j+1) = setor(j).posicao(length(setor(j).posicao));

figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,Prx,'DisplayName','Sinal recebido')
legend('Location','Best')
hold on
plot(posicao,Prx_est,'r','LineWidth',2,'DisplayName',...
    'Curva de melhor ajuste')
legend('Sinal Recebido','Perda com a Distância')
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Sinal Recebido e Perda com a Distância';...
    sprintf('Fator de atenuação: n = %1.2f', n)})
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
hold off
saveas(gcf,'pot_estimada.fig')
saveas(gcf,'pot_estimada.bmp')
saveas(gcf,'pot_estimada.emf')

% Carrega na variável "setor" a potência estimada do móvel

inicio = 1;

for j=1:num_setores
    % Cada setor tem suas correspondentes Prx_est inicial e final
    % na variável Prx_est
    p_inicial = inicio;
    p_final = inicio + length(setor(j).potencia) - 1;
    % Carrega potência estimada do móvel na variável "setor"
    for i = 1:length(setor(j).potencia)
        setor(j).Prx_est(i,1) = Prx_est(i+p_inicial-1);
    end

    inicio = inicio + length(setor(j).potencia);
end

%Salva variável "setor" no diretório corrente
save('setor.mat', 'setor')

```

Programa 6

```

% -----

```

```

% Programa: media_movente.m
% -----
% Realiza primeira filtragem do sinal e encontra o melhor tamanho de
% janela que minimiza a diferença entre as curvas de densidade de
% probabilidade dos métodos de setorização e média movente.
% -----
% Arquivo de entrada: setor.mat
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa setoriza.m
% e atualizado por separa_desv_rap e perda_dist.m
% -----
% Arquivo de saída 1: setor.mat
%
% Arquivo de saída 2: fmm.mat
%
% Arquivo de saída 3: indice_valor_min.mat
%
% Arquivos de saída 4:
% As figuras geradas pelo programa são armazenadas no diretório corrente.
% -----

clc, clear all, close all

load setor

perfil = input('Informe o perfil de medição desejado (1, 2, 3 ou 4): ');

% Número de setores considerados para análise
num_setores = input(...
    'Digite o núm. de setores considerados no cálculo da pot. estimada: ');

% Carrega potência recebida ao longo dos setores

sinal=[];
for j=1:num_setores
    sinal=cat(1,sinal,setor(j).miliwatts); % concatena vetores coluna
end
sinal=sinal';
%neste momento "sinal" é um vetor linha

sinal_dBm=[];
for j=1:num_setores;
    sinal_dBm=cat(1,sinal_dBm,setor(j).potencia);
end;
sinal_dBm=sinal_dBm';
%neste momento "sinal_dBm" é um vetor linha

% Estima densidade de probabilidade (setorização) usando ksdensity
for j=1:num_setores
    [setor(j).f_ks, setor(j).xi_ks] = ksdensity(setor(j).volts_norm);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Primeiro Filtro de média movente (FMM)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Define os tamanhos de janela a serem testados
resto_divisao = 1; % valor qualquer diferente de zero

```

```

while resto_divisao ~= 0
    % Progressão Aritmética:  $a_n = a_0 + (n-1)r$ 
    a_0 = input('Informe o valor da 1ª janela: '); % primeira janela
    r = input('Digite o valor do passo de iteração: '); % passo
    a_n = input('Informe o tamanho da última janela: '); % última janela
    %  $n = ((a_n - a_0)/r) + 1$ 
    resto_divisao = rem(a_n - a_0, r);
    if resto_divisao ~= 0
        disp(...
            'Informe valores coerentes para "passo" e "última janela".')
    end
end

% Número de amostras consideradas do sinal
N=0;
for j=1:num_setores
    N = N + length(setor(j).posicao);
end

cont = 0; % variável para contar o número de iterações
for J = a_0:r:a_n

    cont=cont+1;

    k=N-J+1;
    y(1)=0;
    for i=1:k
        for l=0:J-1;
            y(i,l+1) = sinal(i+1);
        end
        s=sum(y(i,:));
        saida_fmml(i)=s./J; %Saída do FMM1 = Perda + Sombreamento
    end
    for p=(k+1):N
        %Iguala as últimas amostras à última delas
        saida_fmml(p)=saida_fmml(k);
    end
    % neste momento "saida_fmml" é um vetor linha
    saida_fmml_dBm = 10*log10(saida_fmml);
    % neste momento "saida_fmml_dBm" é um vetor linha

    % Desvanecimento Rápido = Sinal/(Perda + Sombreamento) em escala linear
    desv_rap_filtro = sinal./saida_fmml;
    desv_rap_filtro_dB = 10*log(desv_rap_filtro);

    fmm(cont).tamanho_da_la_janela = J;
    fmm(cont).saida_fmml = saida_fmml;
    fmm(cont).saida_fmml_dBm = saida_fmml_dBm;
    fmm(cont).desv_rap_filtro = desv_rap_filtro;
    fmm(cont).desv_rap_filtro_dB = desv_rap_filtro_dB;

    clear J k p

    % Divide desvanecimento rápido filtrado em setores
    inicio=1;
    for j=1:num_setores;
        for i=1:length(setor(j).volts_norm);
            fmm(cont).setor(j).desv_rap(i) =...
                fmm(cont).desv_rap_filtro(inicio-1+i);
        end
    end

```

```

        inicio=inicio+length(setor(j).volts_norm);
    end

end

% Estima densidade de probabilidade (filtragem) usando ksdensity

for cont=1:length(fmm)
    for j=1:num_setores
        [fmm(cont).setor(j).f_ks, fmm(cont).setor(j).xi_ks] =...
            ksdensity(fmm(cont).setor(j).desv_rap);
    end
end
for cont=1:length(fmm)
    for j=1:num_setores

        % Limites de integração
        % (para comparar as densidades é preciso que os limites de
        % integração sejam iguis)
        xi_min = min(fmm(cont).setor(j).xi_ks(1),setor(j).xi_ks(1));
        xi_max = max(fmm(cont).setor(j).xi_ks(length(setor(j).xi_ks)),...
            setor(j).xi_ks(length(setor(j).xi_ks)));
        X = linspace(xi_min,xi_max);

        % Novo ksdensity setorização usando novos limites de integração
        setor(j).fmm(cont).f_ks_novo = ksdensity(setor(j).volts_norm,X);
        setor(j).fmm(cont).X = X;

        % Novo ksdensity filtragem usando novos limites de integração
        fmm(cont).setor(j).f_ks_novo =...
            ksdensity(fmm(cont).setor(j).desv_rap,X);
        fmm(cont).setor(j).X = X;

        % Para comparar as densidades de probabilidade
        % obtidas pelos métodos de setorização e filtragem,
        % pode-se realizar a integral do módulo da diferença
        % entre as duas funções.
        % Na variável "integral" cada linha corresponde a uma janela,
        % enquanto que cada coluna corresponde a um setor
        % (setor este que corresponde à divisão em setores
        % do desvanecimento rápido obtido por filtragem).
        integral(cont,j) = trapz(X,abs(setor(j).fmm(cont).f_ks_novo -...
            fmm(cont).setor(j).f_ks_novo));
    end

    % As diferenças entre as curvas de cada setor podem ser somadas
    % para cada tamanho de janela testado.
    % O menor valor obtido para esta soma corresponde à janela
    % cujas curvas estão mais próximas; esta é a melhor janela
    % (ou janela ótima).
    integral_janela(cont,1) = sum(integral(cont,:));
end

% Melhor Janela
[valor_min , indice_valor_min] = min(integral_janela);
tamanho_melhor_janela = fmm(indice_valor_min).tamanho_da_la_janela;

fprintf('\nTamanho da melhor janela: %d\n\n', tamanho_melhor_janela)

```

```

% Gráfico das densidades de probabilidade para melhor janela
for j=1:num_setores
    X=setor(j).fmm(indice_valor_min).X;
    figure('Color',[1 1 1])
    plot(X,setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo,'b',...
        X,fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo,'r')
    xlabel('Tensão Normalizada');
    ylabel('Densidade de Probabilidade');
    title({sprintf('PERFIL %d - Setor %d', perfil,j);...
        'Densidade de Probabilidade para Melhor Janela';...
        sprintf('Tamanho da janela: %d - Total de amostras: %d',...
            tamanho_melhor_janela,N)});
    legend('Setorização','Filtragem')
    legend('Location','Best')
    saveas(gcf,['ksdensity_best_setor' num2str(j) '.fig'])
    saveas(gcf,['ksdensity_best_setor' num2str(j) '.bmp'])
    saveas(gcf,['ksdensity_best_setor' num2str(j) '.emf'])
end

% Gráfico comparando a soma das diferenças entre as curvas de densidade
% ao longo dos setores de acordo com o tamanho de cada janela testada
janelas = a_0:r:a_n; janelas = janelas';
figure('Color',[1 1 1])
plot(janelas,integral_janela)
xlabel('Tamanho da 1ª Janela');
ylabel('Diferença entre as Curvas de Densidade');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Escolha da Melhor Janela'})
saveas(gcf,'janelas.fig')
saveas(gcf,'janelas.bmp')
saveas(gcf,'janelas.emf')

% Carregando variáveis de setorização

% Carrega posição do móvel
posicao=[];
for j=1:num_setores;
    posicao=cat(1,posicao,setor(j).posicao);
end;
%neste momento "posicao" é um vetor coluna
posicao = posicao';
%neste momento "posicao" é um vetor linha

% Carrega desvanecimento lento setorizado no ponto médio dos setores
for j=1:num_setores
    x_medio(j)=setor(j).x_medio;
    desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio(j)=setor(j).media_setor;
end

% Divide saída do 1o filtro em setores
inicio=1;
for j=1:num_setores;
    for i=1:length(setor(j).volts_norm);
        fmm(indice_valor_min).setor(j).saida_fmml(i) =...
            fmm(indice_valor_min).saida_fmml(inicio-1+i);
    end
    inicio=inicio+length(setor(j).volts_norm);
end

```

```

end

% Calcula média da saída do 1o filtro em cada setor
for j=1:num_setores
    media(j) = mean(fmm(indice_valor_min).setor(j).saida_fmml);
    media_dBm(j) = 10*log10(media(j));
end

% Gráfico da saída do 1o filtro para a melhor janela

% Delimitação dos setores
for j=1:num_setores
    tick(j) = setor(j).posicao(1); %posição das linhas de grade horizontais
end
tick(j+1) = setor(j).posicao(length(setor(j).posicao));

% Desvanecimento Lento + Perda com a Distância (Setorização e Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(x_medio,desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio,...
    '-bs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',3)
hold on
plot(posicao,fmm(indice_valor_min).saida_fmml_dBm,'r');
plot(x_medio,media_dBm,...
    '-gs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',3)
hold off
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Desv. Lento + Perda com a Distância para Melhor Janela';...
    sprintf('Tamanho da janela: %d - Total de amostras: %d',...
        tamanho_melhor_janela,N)})
legend('Setorização','Filtragem','Média (filtro)')
legend('Location','Best')

saveas(gcf,'Desv_Lento_MAIS_Perda_Setorizacao_e_Filtragem_BEST.fig')
saveas(gcf,'Desv_Lento_MAIS_Perda_Setorizacao_e_Filtragem_BEST.emf')
saveas(gcf,'Desv_Lento_MAIS_Perda_Setorizacao_e_Filtragem_BEST.bmp')

% Possibilidade de gerar gráficos para outra janela

disp('Deseja gerar os gráficos das Densidades de Probabilidade')
disp('e da saída do 1o filtro para alguma janela específica')
disp('previamente testada?')
resp = input('Digite "1" para "sim" ou "0" para "não": ');

if resp == 1
    n = input('Informe o valor da janela: ');
    indice = find(janelas==n);
    while isempty(indice)
        n = input('Informe um valor correto de janela testada: ');
        indice = find(janelas==n);
    end

% Gráfico das densidades de probabilidade para janela especificada
for j=1:num_setores
    X=setor(j).fmm(indice).X;

```

```

figure('Color',[1 1 1])
plot(X,setor(j).fmm(indice).f_ks_novo,'b',...
      X,fmm(indice).setor(j).f_ks_novo,'r')
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d - Setor %d', perfil,j);...
       'Densidade de Probabilidade';...
       sprintf('Tamanho da janela: %d - Total de amostras: %d',...
               n,N)})
legend('Setorização','Filtragem')
legend('Location','Best')
saveas(gcf,['ksdensity_setor_' num2str(j)...
           '_janela_' num2str(n) '.fig'])
saveas(gcf,['ksdensity_setor_' num2str(j)...
           '_janela_' num2str(n) '.emf'])
saveas(gcf,['ksdensity_setor_' num2str(j)...
           '_janela_' num2str(n) '.bmp'])
end

% Desv. Lento + Perda com a Distância (Setorização e Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(x_medio,desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio,...
      '-bs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',3)
hold on
plot(posicao,fmm(indice).saida_fmml_dBm,'r');
plot(x_medio,media_dBm,...
      '-gs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',3)
hold off
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Tensão Normalizada');
ylabel('Densidade de Probabilidade');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
       'Desv. Lento + Perda com a Distância para Melhor Janela';...
       sprintf('Tamanho da janela: %d - Total de amostras: %d',...
               n,N)})
legend('Setorização','Filtragem','Média (filtro)')
legend('Location','Best')
saveas(gcf,['Desv_Lento_MAIS_Perda_janela_' num2str(n) '.fig'])
saveas(gcf,['Desv_Lento_MAIS_Perda_janela_' num2str(n) '.emf'])
saveas(gcf,['Desv_Lento_MAIS_Perda_janela_' num2str(n) '.bmp'])
end

% Salva variáveis no diretório corrente
save('setor.mat','setor')
save('fmm.mat','fmm')
save('indice_valor_min.mat','indice_valor_min')

```

Programa 7

```

% -----
% Programa: densidade_prob.m
% -----
% Calcula a densidade de probabilidade
% para as distribuições
% Normal, Rice, Rayleigh, Weibull e Nakagami.
% -----
% Arquivo de entrada 1: setor.mat
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa setoriza.m

```

```

% e atualizado por separa_desv_rap.m, perda_dist.m e media_movente.m
%
% Arquivo de entrada 2: fmm.mat
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa media_movente.m
%
% Arquivo de entrada 3: indice_valor_min
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa media_movente.m
% -----
% Arquivo de saída 1: setor.mat
%
% Arquivo de saída 2: fmm.mat
%
% Arquivo de saída 3: integral_setorizacao.txt
%
% Arquivo de saída 4: integral_filtragem.txt
%
% Arquivos de saída 5:
% As figuras geradas pelo programa são armazenadas no diretório corrente.
% -----

clear all
close all

% Carrega variáveis do diretório corrente
load setor; load fmm; load indice_valor_min;

perfil = input('Informe o perfil de medição desejado (1, 2, 3 ou 4): ');

% Número de setores considerados para análise
num_setores = input(...
    'Digite o núm. de setores considerados no cálculo da pot. estimada: ');

% Número de amostras consideradas do sinal
N=0;
for j=1:num_setores
    N = N + length(setor(j).posicao);
end

% Calcula pdf

for j=1:num_setores

    % limites de integração definidos em programa anterior
    % (correspondem à tensão normalizada)
    X = setor(j).fmm(indice_valor_min).X';
    for i=1:length(X)
        if X(i)<0
            X(i)=0;
        end
    end

    % calcula parâmetros da distribuição normal
    pd_normal=fitdist(setor(j).volts_norm,'normal');
    mu=pd_normal.Params(1);
    sigma=pd_normal.Params(2);
    % calcula pdf da distribuição normal
    for i = 1:length(X)
        setor(j).pdf_normal(i)=(1/(sigma*sqrt(2*pi)))*...
            exp(-((X(i)-mu)^2)/(2*sigma^2));
    end
end

```

```

% calcula parâmetros da distribuição rice
pd_rice=fitdist(setor(j).volts_norm,'rician');
s=pd_rice.Params(1);
sigma=pd_rice.Params(2);
K(j,1)=(s^2)/(2*(sigma^2)); % parâmetro K
% calcula pdf da distribuição rice
for i = 1:length(X)
    setor(j).pdf_rice(i)=(X(i)/(sigma^2))*...
        besseli(0,s*X(i)/(sigma^2))*...
        exp(-(X(i)^2)+(s^2)/(2*sigma^2));
end

% calcula parâmetros da distribuição rayleigh
pd_rayl=fitdist(setor(j).volts_norm,'rayleigh');
b=pd_rayl.Params(1);
% calcula pdf da distribuição rayleigh
for i = 1:length(X)
    setor(j).pdf_rayl(i)=(X(i)/(b^2))*...
        exp(-(X(i)^2)/(2*(b^2)));
end

% calcula parâmetros da distribuição weibull
pd_wbl=fitdist(setor(j).volts_norm,'weibull');
a=pd_wbl.Params(1); % parâmetro de escala
b=pd_wbl.Params(2); % parâmetro de forma
% calcula pdf da distribuição weibull
for i = 1:length(X)
    setor(j).pdf_wbl(i)=b*(a^(-b))*...
        (X(i)^(b-1))*...
        exp(-(X(i)/a)^b);
end

% calcula parâmetros da distribuição nakagami
pd_nak=fitdist(setor(j).volts_norm,'nakagami');
mu=pd_nak.Params(1);
omega=pd_nak.Params(2);
% calcula pdf da distribuição nakagami
for i = 1:length(X)
    setor(j).pdf_nak(i)=(1/gamma(mu))*2*((mu/omega)^mu)*...
        (X(i)^(2*mu-1))*...
        exp((-mu/omega)*(X(i)^2));
end
end

% Plota distribuições

for j=1:num_setores

    X = setor(j).fmm(indice_valor_min).X;

    figure('Color',[1 1 1])

    % Plota ksdensity setorização
    plot(X, setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo, 'b-','LineWidth',1);
    hold on
    % Plota ksdensity filtragem
    plot(X, fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo, 'r-','LineWidth',1);

```

```

% Distribuições
plot(X, setor(j).pdf_normal, 'r-', 'LineWidth', 2);
plot(X, setor(j).pdf_rice, 'b--', 'LineWidth', 2);
plot(X, setor(j).pdf_rayl, ...
      'Color', [0.67 0.33 0], 'LineStyle', '-.', 'LineWidth', 2);
plot(X, setor(j).pdf_wbl, ...
      'Color', [0.33 0.33 0.33], 'LineStyle', ':', 'LineWidth', 2);
plot(X, setor(j).pdf_nak, 'g-.', 'LineWidth', 2);

title({sprintf('PERFIL %d - Setor %d', perfil, j);...
      'Densidades de Probabilidade'})
xlabel('Tensão Normalizada');
ylabel('Densidade de Probabilidade');
legend('Setorização', 'Filtragem', 'Normal', 'Rice', ...
      'Rayleigh', 'Weibull', 'Nakagami')
legend('Location', 'Best')

hold off

% Salva as figuras no diretório corrente
saveas(gcf, ['pdf_setor' num2str(j) '.fig'])
saveas(gcf, ['pdf_setor' num2str(j) '.bmp'])
saveas(gcf, ['pdf_setor' num2str(j) '.emf'])
end

% Compara distribuições com as densidades de probabilidade
% de setorização e filtragem

for j=1:num_setores

X = setor(j).fmm(indice_valor_min).X;

% Distribuição Normal
setor(j).integral_normal = ...
    trapz(X, abs(setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo - ...
                setor(j).pdf_normal));
fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_normal = ...
    trapz(X, abs(fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo - ...
                setor(j).pdf_normal));

% Distribuição Rice
setor(j).integral_rice = ...
    trapz(X, abs(setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo - ...
                setor(j).pdf_rice));
fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_rice = ...
    trapz(X, abs(fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo - ...
                setor(j).pdf_rice));

% Distribuição Rayleigh
setor(j).integral_rayl = ...
    trapz(X, abs(setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo - ...
                setor(j).pdf_rayl));
fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_rayl = ...
    trapz(X, abs(fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo - ...
                setor(j).pdf_rayl));

% Distribuição Weibull
setor(j).integral_wbl = ...

```

```

        trapz(X,abs(setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo -...
                setor(j).pdf_wbl));
fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_wbl = ...
        trapz(X,abs(fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo -...
                setor(j).pdf_wbl));

% Distribuição Nakagami
setor(j).integral_nak =...
        trapz(X,abs(setor(j).fmm(indice_valor_min).f_ks_novo -...
                setor(j).pdf_nak));
fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_nak = ...
        trapz(X,abs(fmm(indice_valor_min).setor(j).f_ks_novo -...
                setor(j).pdf_nak));

end

% Salva integral do módulo da diferença (setorização) em arquivo .txt

fileID = fopen('integral_setorizacao.txt','w');
fprintf(fileID, 'Integral do módulo da diferença (setorização):\r\n\r\n');
for j=1:num_setores;
    fprintf(fileID, 'SETOR %d\r\n', j);
    fprintf(fileID, 'Normal   : %4.3f\r\n', setor(j).integral_normal);
    fprintf(fileID, 'Rice     : %4.3f (K = %f)\r\n',...
            setor(j).integral_rice, K(j,1));
    fprintf(fileID, 'Rayleigh : %4.3f\r\n', setor(j).integral_rayl);
    fprintf(fileID, 'Weibull  : %4.3f\r\n', setor(j).integral_wbl);
    fprintf(fileID, 'Nakagami : %4.3f\r\n\r\n', setor(j).integral_nak);
end
fclose(fileID);
type('integral_setorizacao.txt')

% Salva integral do módulo da diferença (filtragem) em arquivo .txt

fileID = fopen('integral_filtragem.txt','w');
fprintf(fileID, 'Integral do módulo da diferença (filtragem):\r\n\r\n');
for j=1:num_setores;
    fprintf(fileID, 'SETOR %d\r\n', j);
    fprintf(fileID, 'Normal   : %4.3f\r\n',...
            fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_normal);
    fprintf(fileID, 'Rice     : %4.3f (K = %f)\r\n',...
            fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_rice, K(j,1));
    fprintf(fileID, 'Rayleigh : %4.3f\r\n',...
            fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_rayl);
    fprintf(fileID, 'Weibull  : %4.3f\r\n',...
            fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_wbl);
    fprintf(fileID, 'Nakagami : %4.3f\r\n\r\n',...
            fmm(indice_valor_min).setor(j).integral_nak);
end
fclose(fileID);
type('integral_filtragem.txt')

% Salva variáveis no diretório corrente
save('setor.mat', 'setor')
save('fmm.mat', 'fmm')

```

Programa 8

```

% -----
% Programa: media_movente_segunda_parte.m
% -----
% Realiza primeira e segunda filtragem do sinal para janelas específicas.
% -----
% Arquivo de entrada: setor.mat
% O arquivo de entrada foi gerado pelo programa setoriza.m
% e atualizado por separa_desv_rap.m e perda_dist.m
% -----
% Arquivos de saída:
% As figuras geradas pelo programa são armazenadas no diretório corrente.
% -----

clc, clear all, close all

load setor

perfil = input('Informe o perfil de medição desejado (1, 2, 3 ou 4): ');

% Número de setores considerados para análise
num_setores = input(...
    'Digite o núm. de setores considerados no cálculo da pot. estimada: ');

% Número de amostras consideradas do sinal
N=0;
for j=1:num_setores;
    N = N + length(setor(j).posicao);
end

% Carrega potência recebida ao longo dos setores

sinal=[];
for j=1:num_setores
    sinal=cat(1,sinal,setor(j).miliwatts); % concatena vetores coluna
end
sinal=sinal';
%neste momento "sinal" é um vetor linha

sinal_dBm=[];
for j=1:num_setores;
    sinal_dBm=cat(1,sinal_dBm,setor(j).potencia);
end;
sinal_dBm=sinal_dBm';
%neste momento "sinal_dBm" é um vetor linha

%Primeiro Filtro de média movente (FMM)

J= input('Número de amostras da 1a janela móvel = ');
jan1 = J;
%J=100; % número de amostras da 1a janela móvel
fprintf('\nNúmero de amostras da 1a janela móvel: %d\n\n', J)
display('Processando dados da 1a filtragem...')

k=N-J+1;
y(1)=0;
for i=1:k;
    for l=0:J-1;
        y(i,l+1) = sinal(i+l);
    end;
end;

```

```

        s=sum(y(i,:));
        saida_fmml(i)=s./J; %Saída do FMM1 = Perda + Sombreamento
    end
    for p=(k+1):N;
        saida_fmml(p)=saida_fmml(k); %Iguala as últimas amostras à última delas
    end;
    % neste momento "saida_fmml" é um vetor linha
    saida_fmml_dBm = 10*log10(saida_fmml);
    % neste momento "saida_fmml_dBm" é um vetor linha

    % Desvanecimento Rápido = Sinal/(Perda + Sombreamento) em escala linear
    desv_rap_filtro = sinal./saida_fmml;
    desv_rap_filtro_dB = 10*log(desv_rap_filtro);

    clear J k p

    %Segundo Filtro de média movente (FMM)

    J= input('Número de amostras da 2a janela móvel = ');
    jan2 = J;
    %J=300; % número de amostras da 2a janela móvel
    %fprintf('\nNúmero de amostras da 2a janela móvel: %d\n\n', J)
    display('Processando dados da 2a filtragem...');

    k=N-J+1;
    y1(1)=0;
    for i=1:k;
        for l=0:J-1;
            y1(i,l+1) = saida_fmml(i+l);
        end;
        s=sum(y1(i,:));
        saida_fmm2(i)=s./J; % Saída do FMM2 = Perda
    end
    for p=(k+1):N;
        saida_fmm2(p)=saida_fmm2(k);
    end;

    display(' ')
    display('Fim do processo de filtragem.')

    saida_fmm2_dBm = 10*log10(saida_fmm2);

    % Sombreamento = (Perda*Sombreamento)/(Perda) em escala linear
    sombreamento_filtro = saida_fmml./saida_fmm2;
    sombreamento_filtro_dB = 10*log10(sombreamento_filtro);

    % Carregando variáveis de setorização

    % Carrega posição do móvel
    posicao=[];
    for j=1:num_setores;
        posicao=cat(1,posicao,setor(j).posicao);
    end;
    %neste momento "posicao" é um vetor coluna
    posicao = posicao';
    %neste momento "posicao" é um vetor linha

    % Carrega potência estimada setorizada (dBm)

```

```

prx_est_setorizada_dBm=[];
for j=1:num_setores;
    prx_est_setorizada_dBm=cat(1,prx_est_setorizada_dBm,setor(j).Prx_est);
end;
prx_est_setorizada_dBm=prx_est_setorizada_dBm';
% potência estimada setorizada (miliwatts)
prx_est_setorizada = 10.^(prx_est_setorizada_dBm/10);

% Carrega desvanecimento rápido setorizado (dB)
desv_rap_setorizado_dB=[];
for j=1:num_setores;
    desv_rap_setorizado_dB =...
        cat(1,desv_rap_setorizado_dB,setor(j).potencia_norm_dB);
end;
desv_rap_setorizado_dB=desv_rap_setorizado_dB';

% Carrega desvanecimento rápido setorizado (watts)
desv_rap_setorizado=[];
for j=1:num_setores;
    desv_rap_setorizado =...
        cat(1,desv_rap_setorizado,setor(j).potencia_norm);
end;
desv_rap_setorizado=desv_rap_setorizado';

% Carrega desvanecimento lento setorizado (dBm)
desv_lento_setorizado_dBm=[];
for j=1:num_setores;
    for i=1:length(setor(j).posicao);
        vetor_aux(i,1) = setor(j).media_setor;
    end;
    desv_lento_setorizado_dBm = cat(1,desv_lento_setorizado_dBm,vetor_aux);
end;
desv_lento_setorizado_dBm = desv_lento_setorizado_dBm';
clear vetor_aux

% Carrega desvanecimento lento setorizado (miliwatts)
desv_lento_setorizado=[];
for j=1:num_setores;
    for i=1:length(setor(j).posicao);
        vetor_aux(i,1) = setor(j).media_miliwatts;
    end;
    desv_lento_setorizado = cat(1,desv_lento_setorizado,vetor_aux);
end;
desv_lento_setorizado = desv_lento_setorizado';

% Carrega desvanecimento lento setorizado no ponto médio dos setores
for j=1:num_setores
    x_medio(j)=setor(j).x_medio;
    desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio(j)=setor(j).media_setor;
end

% Plotagem:

% Delimitação dos setores
for j=1:num_setores
    tick(j) = setor(j).posicao(1); %posição das linhas de grade horizontais
end
tick(j+1) = setor(j).posicao(length(setor(j).posicao));

```

```

% Sinal Recebido e seus 3 Efeitos (Setorização)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,sinal_dBm,'b',...
      posicao,desv_rap_setorizado_dB,'g',...
      posicao,prx_est_setorizada_dBm,'k')
hold on
plot(x_medio,desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio,...
      '-rs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',3)
hold off
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
      'Sinal Recebido e seus 3 Efeitos (Setorização)'});
legend('Sinal Recebido','Desvanecimento Rápido (dB)',...
      'Perda no Percurso Estimada','Sombreamento + Perda')
legend('Location','Best')
saveas(gcf,'EXTRA_Sinal_Recebido_e_seus_3_Efeitos_Setorizacao.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Sinal_Recebido_e_seus_3_Efeitos_Setorizacao.bmp')
saveas(gcf,'EXTRA_Sinal_Recebido_e_seus_3_Efeitos_Setorizacao.fig')

% Sinal Recebido e seus 3 Efeitos (Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,sinal_dBm,'b',...
      posicao,desv_rap_filtro_dB,'g',...
      posicao,sombreamento_filtro_dB,'r',...
      posicao,saida_fmm2_dBm,'k')
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
      'Sinal Recebido e seus 3 Efeitos (Filtragem)'};...
      sprintf('1a Janela: %d - 2a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
              jan1,jan2,N)});
legend('Sinal Recebido','Desvanecimento Rápido (dB)',...
      'Sombreamento (dB)','Perda no Percurso')
legend('Location','Best')
saveas(gcf,'EXTRA_Sinal_Recebido_e_seus_3_Efeitos_Filtragem.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Sinal_Recebido_e_seus_3_Efeitos_Filtragem.bmp')
saveas(gcf,'EXTRA_Sinal_Recebido_e_seus_3_Efeitos_Filtragem.fig')

% Desvanecimento Rápido (Setorização)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,desv_rap_setorizado_dB,'b');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dB)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
      'Desvanecimento Rápido (Setorização)'});
saveas(gcf,'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Setorizacao.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Setorizacao.bmp')
saveas(gcf,'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Setorizacao.fig')

% Desvanecimento Rápido (Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,desv_rap_filtro_dB,'r');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)

```

```

xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dB)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
        'Desvanecimento Rápido (Filtragem)';...
        sprintf('1a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
                jan1,N)});
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Filtragem.emf')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Filtragem.bmp')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Filtragem.fig')

% Desvanecimento Rápido (Setorização e Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,desv_rap_setorizado_dB,'b',...
      posicao,desv_rap_filtro_dB,'r');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dB)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
        'Desvanecimento Rápido (Setorização e Filtragem)';...
        sprintf('1a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
                jan1,N)});
legend('Setorização','Filtragem')
legend('Location','Best')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Setorizacao_e_Filtragem.emf')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Setorizacao_e_Filtragem.bmp')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Rapido_Setorizacao_e_Filtragem.fig')

% Desvanecimento Lento + Perda no Percurso (Setorização)
figure('Color',[1 1 1])
plot(x_medio,desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio,...
      '-bs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',3)
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
        'Desvanecimento Lento + Perda no Percurso (Setorização)'});
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Setorizacao.emf')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Setorizacao.bmp')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Setorizacao.fig')

% Desvanecimento Lento + Perda no Percurso (Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,saida_fmml_dBm,'r');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
        'Desvanecimento Lento + Perda no Percurso (Filtragem)';...
        sprintf('1a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
                jan1,N)});
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Filtragem.emf')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Filtragem.bmp')
saveas(gcf, 'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Filtragem.fig')

% Desvanecimento Lento + Perda no Percurso (Setorização e Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(x_medio,desv_lento_setorizado_dBm_ponto_medio,...
      '-bs','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',3)

```

```

hold on
plot(posicao,saida_fmm1_dBm,'r');
hold off
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Desvanecimento Lento + Perda no Percorso (Setorização e Filtragem)'};...
    sprintf('1a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
        jan1,N))
legend('Setorização','Filtragem')
legend('Location','Best')
saveas(gcf,'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Setorizacao_e_Filtragem.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Setorizacao_e_Filtragem.bmp')
saveas(gcf,'EXTRA_Desvanecimento_Lento_Setorizacao_e_Filtragem.fig')

% Perda no Percorso Estimada (Setorização)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,prx_est_setorizada_dBm,'b');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Perda no Percorso Estimada (Setorização)'})
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Estimada_Setorizacao.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Estimada_Setorizacao.bmp')
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Estimada_Setorizacao.fig')

% Perda no Percorso (Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,saida_fmm2_dBm,'r');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Perda no Percorso (Filtragem)'};...
    sprintf('1a Janela: %d - 2a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
        jan1,jan2,N))
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Filtragem.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Filtragem.bmp')
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Filtragem.fig')

% Perda no Percorso (Setorização e Filtragem)
figure('Color',[1 1 1])
plot(posicao,prx_est_setorizada_dBm,'b',...
    posicao,saida_fmm2_dBm,'r');
grid on
set(gca,'XTick',tick,'XTickLabel',round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
    'Perda no Percorso (Setorização e Filtragem)'};...
    sprintf('1a Janela: %d - 2a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
        jan1,jan2,N))
legend('Setorização','Filtragem')
legend('Location','Best')
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Setorizacao_e_Filtragem.emf')
saveas(gcf,'EXTRA_Perda_no_Percorso_Setorizacao_e_Filtragem.bmp')

```

```

saveas(gcf, 'EXTRA_Perda_no_Percurso_Setorizacao_e_Filtragem.fig')

% Sombreamento (Filtragem)
figure('Color', [1 1 1])
plot(posicao, sombreamento_filtro_dB, 'r');
grid on
set(gca, 'XTick', tick, 'XTickLabel', round(10*tick)/10)
xlabel('Posição (m)');
ylabel('Potência (dBm)');
title({sprintf('PERFIL %d', perfil);...
       'Sombreamento (Filtragem)';...
       sprintf('1a Janela: %d - 2a Janela: %d - Total de amostras: %d',...
              jan1, jan2, N)})
saveas(gcf, 'EXTRA_Sombreamento_Filtragem.emf')
saveas(gcf, 'EXTRA_Sombreamento_Filtragem.bmp')
saveas(gcf, 'EXTRA_Sombreamento_Filtragem.fig')

```