# UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE ESCOLA DE ENGENHARIA MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

**Marcos Augusto Gomes dos Santos** 

COBERTURA E ESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE DO SINAL RÁDIO MÓVEL NA FAIXA DE 5,8 GHz

# **Marcos Augusto Gomes dos Santos**

# COBERTURA E ESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE DO SINAL RÁDIO MÓVEL NA FAIXA DE 5,8 GHz

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<sup>a</sup>. Dra. Leni Joaquim de Matos

# MARCOS AUGUSTO GOMES DOS SANTOS

# COBERTURA E ESTATÍSTICA DA VARIABILIDADE DO SINAL RÁDIO MÓVEL NA FAIXA DE 5,8 GHz

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.

#### **BANCA EXAMINADORA**

Aprovada em 14 de junho de 2013.

Prof<sup>a</sup>. Dra. Leni Joaquim de Matos
Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. José Santo Guiscafré Panaro
Universidade Federal Fluminense

Prof<sup>a</sup>. Dra. Vanessa Przybylski Ribeiro Magri
Universidade Federal Fluminense

NITERÓI 2013

Esta dissertação é dedicada, aos meus queridos pais, Fernando e Maria Almira, pelo amor e dedicação; à Ana Luiza, minha grande incentivadora, parceira e companheira.

# **Agradecimentos**

Primeiramente, a Deus.

À Profa Dra. Leni Joaquim de Matos, pela sua grande dedicação e apoio na orientação.

Ao colega Wilyam Meza pela parceria na realização das medições e processamento dos dados.

A todos que participaram na realização e planejamento campanha de medição, alunos da UFF e da PUC-RIO, em especial Alex Cascardo e Uwe Villanueva.

À Universidade Federal Fluminense, pelos auxílios concedidos.

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

A todos os professores e funcionários do Departamento e da PGSS em Engenharia de Telecomunicações, pelos ensinamentos e pela colaboração.

Ao meu amor, Ana Luiza, pela colaboração e apoio incondicional nos últimos sete anos.

Aos meus pais, Fernando e Maria Almira, por tudo o que tenho em minha vida.

A Gilmar dos Santos e Maria Conceição pelo apoio e carinho.

#### Resumo

A demanda por serviços de telecomunicações é crescente nos mercados corporativo e doméstico. A necessidade por maior capacidade de transmissão de dados e disponibilidade das redes de telecomunicações é imperativa, visto que tais redes suportam processos importantes de grandes empresas e geram valor. Por outro lado, o acesso à Internet está se tornando indispensável para a população em geral; as pessoas querem se comunicar e ter acesso a serviços sem limitações, seja de horário ou local. Dentro deste contexto, as comunicações móveis desempenham um papel importante ao elevar a acessibilidade às telecomunicações. Com um grande avanço dos serviços telefonia celular, suportada por uma infraestrutura de rede custosa, cria-se uma lacuna na prestação de serviços móveis para a população de menor poder aquisitivo e também no provimento de redes corporativas móveis para áreas afastadas geograficamente. Uma solução seria a utilização de redes WiMAX em faixas de frequência não licenciadas, como a de 5,8 GHz. Neste sentido, é importante entender o comportamento de um sinal com estas características para elaborar um planejamento de cobertura eficiente e prover qualidade na comunicação. Este trabalho tem como objetivo a caracterização do canal em faixa estreita e a análise da cobertura de sinal para a faixa de 5.8 GHz em ambientes suburbanos.

**Palavras-chave:** Propagação em 5,8 GHz. Canal rádio móvel. Desvanecimento de sinal. Cobertura. Caracterização do canal em faixa estreita. Variabilidade do sinal.

### **Abstract**

The demand for telecommunications services is growing rapidly for business and consumers market. More networks' speed and reliability are desirable, because these networks support important processes for big companies and generate income. The Internet accessibility is being indispensable for the people, who want limitless services. In this context, wireless network play a good part bringing communications accessibility. The great development of mobile communications, supported by an expensive infrastructure, lead to a gap in serving poorest people and business mobile network for remote areas. One solution would be to deploy WiMAX networks in unlicensed frequency bands, as the 5.8 GHz band. In this context, is important to know the signal behavior at this band for efficient coverage planning and bring communications quality. This dissertation aims the narrowband channel characterisation and coverage analysis of 5.8 GHZ band to suburban areas.

**Keywords:** Propagation in 5.8 GHz. Radiomobile channel. Signal fading. Coverage. Narrowband channel characterisation. Signal variability.

# Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
	1.1 MOTIVAÇÃO	14
	1.2 OBJETIVOS	
	1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	15
2	ARQUITETURA DOS SISTEMAS WIMAX	16
	2.1 A FAMÍLIA DOS PADRÕES IEEE 802.16	16
	2.2 TECNOLOGIAS OFDM E OFDMA	18
	2.2.1. OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing)	18
	2.2.1.1. Ortogonalidade no domínio da frequência	19
	2.2.1.2. Representação no domínio do tempo	20
	2.2.1.3. Geração de um sinal OFDM	20
	2.2.2. OFDMA (Orthogonal frequency division multiple access)	21
	2.3 INTERFACE FÍSICA DO WIMAX	22
	2.3.1 WIMAX fixo (802.16-2004)	22
3	TEORIA DE PROPAGAÇÃO NO CANAL RÁDIO MÓVEL	24
	3.1 EFEITOS DE PROPAGAÇÃO	24
	3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CANAL EM FAIXA ESTREITA	25
	3.3 PERDA NO PERCURSO (PATH LOSS)	25
	3.3.1 Modelo Okumura-Hata	26
	3.3.2 Modelo COST 231–Hata	26
	3.3.3 Modelo SUI	27
	3.3.4 Modelo proposto pela UFPA para a faixa de 5,8 GHz	29
	3.4 DESVANECIMENTO EM GRANDE ESCALA (SOMBREAMENTO)	
	3.5 DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA	31
	3.5.1 Distribuições estatísticas associadas ao desvanecimento em pequena escala	31
	3.5.1.1 Distribuição de Rayleigh	31
	3.5.1.2 Distribuição de Rice	32
	3.5.1.3 Distribuição de Nakagami	
	3.5.1.4 Distribuição α-μ	
	3.6 TAXA DE CRUZAMENTO DE NÍVEL E DURAÇÃO MÉDIA DE DESVANECIM	
4	CAMPANHA DE MEDIÇÃO	36
	4.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE MEDIÇÃO	36
	4.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO <i>SETUP</i> DE MEDIÇÃO	37
	4.2.1 Descrição do setup de transmissão	37

4.2.2 Descrição do setup de recepção	39
4.2.3 Procedimento de medição e aquisição de dados	41
5 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	43
5.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS	43
5.2 SETORIZAÇÃO E ROTAS TRAÇADAS	43
5.3 ANÁLISE DO DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA	45
5.3.1 Análise da rota 1	47
5.3.2 Análise da rota 2	48
5.3.3 Análise da rota 3	50
5.3.4 Análise da rota 4	51
5.3.5 Análise da rota 5	53
5.3.6 Análise da rota 6	56
5.3.7 Análise da rota 7	57
5.4 ANÁLISE DO DESVANECIMENTO EM GRANDE ESCALA	59
5.5 TAXA DE CRUZAMENTO DE NÍVEL E DURAÇÃO MÉDIA DE DESVANECI	MENTOS 70
5.6 PERDA NO PERCURSO E COMPARAÇÃO COM MODELOS DE COBERTUR	A74
6 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE	82
A.1 PROGRAMAS DO MATLAB	82

# Lista de Figuras

Figura 2.1: processo de modulação OFDM simplificado	21
Figura 2.2: Processo de transmissão OFDMA	22
Figura 3.1: Propagação em multipercursos	24
Figura 4.1: Rotas percorridas em Tanguá	36
Figura 4.2: Visada do transmissor	36
Figura 4.3: Viatura de medição	37
Figura 4.4: Montagem dos equipamentos de transmissão	38
Figura 4.5: Diagrama de blocos do setup de transmissão	39
Figura 4.6: Analisador de sinais Signature	40
Figura 4.7: Placa de aquisição	40
Figura 4.8: Diagrama de blocos do setup de recepção	41
Figura 5.1: Setores das rotas realizadas	44
Figura 5.2: Correspondência das cores aplicadas para identificar o nível médio de sinal dos setores	45
Figura 5.3: Traçado e setores da rota 1	47
Figura 5.4: Localização do setor 33, onde obteve-se o melhor ajuste para Rice	48
Figura 5.5: Localização do setor 155, onde obteve-se o melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	48
Figura 5.6: Traçado e setores da rota 2	49
Figura 5.7: Localização do setor 274, onde obteve-se o melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	49
Figura 5.8: Localização do setor 600, onde obteve-se o melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	50
Figura 5.9: Localização do setor 1860, onde obteve-se o melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	50
Figura 5.10: Traçado e setores da rota 3	51
Figura 5.11: Localização do setor 116, onde obteve-se o melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	51
Figura 5.12: Traçado e setores da rota 4	52
Figura 5.13: Localização do setor 22, onde obteve-se o melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	52
Figura 5.14: Setor 667 da rota 4, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	53
Figura 5.15: Setor 1270 da rota 4, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	53
Figura 5.16: Traçado e setores da rota 5	54
Figura 5.17: Setor 361 da rota 5, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	54
Figura 5.18: Setor 770 da rota 5, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	55
Figura 5.19: Setor 1461 da rota 5, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	55
Figura 5.20: Traçado e setores da rota 6	56
Figura 5.21: Setor 12 da rota 6, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	56
Figura 5.22: Traçado e setores da rota 7	57
Figura 5.23: Setor 796 da rota 7, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	57
Figura 5.24: Setor 1236 da rota 7, melhor ajuste para α-μ	58

Figura 5.25: Setor 1531 da rota 7, melhor ajuste para $\alpha$ - $\mu$	.58
Figura 5.26: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 1	.59
Figura 5.27: Desvanecimento em grande escala para a rota 1	60
Figura 5.28: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota $1 \dots$	.60
Figura 5.29: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 2	.61
Figura 5.30: Desvanecimento em grande escala para a rota 2	61
Figura 5.31: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 2	.62
Figura 5.32: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 3	.62
Figura 5.33: Desvanecimento em grande escala para a rota 3	63
Figura 5.34: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 3	.63
Figura 5.35: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 4	.64
Figura 5.36: Desvanecimento em grande escala para a rota 4	64
Figura 5.37: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 4	.65
Figura 5.38: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 5	.65
Figura 5.39: Desvanecimento em grande escala para a rota 5	66
Figura 5.40: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 5	.66
Figura 5.41: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 6	.67
Figura 5.42: Desvanecimento em grande escala para a rota 6	67
Figura 5.43: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 6	.68
Figura 5.44: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 7	.68
Figura 5.45: Desvanecimento em grande escala para a rota 7	69
Figura 5.46: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 7	.69
Figura 5.47: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 1	.70
Figura 5.48: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 2	.71
Figura 5.49: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 3	.71
Figura 5.50: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 4	.72
Figura 5.51: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 5	.72
Figura 5.52: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 6	.73
Figura 5.53: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 7	.73
Figura 5.54: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 1	.74
Figura 5.55: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 2	.75
Figura 5.56: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 3	.75
Figura 5.57: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 4	.76
Figura 5.58: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 5	.76
Figura 5.59: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 6	.77
Figura 5.60: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 7	.77

# Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Categorias de terreno do Modelo SUI	28
Tabela 3.2: Constantes do Modelo SUI	28
Tabela 5.1: Rotas e quantidade de setores	44
Tabela 5.2: Análise do desvanecimento em pequena escala	46
Tabela 5.3: Tabela de resumo dos resultados para perda no percurso	78

## 1 INTRODUÇÃO

As redes de comunicações sem fio deixaram de ser um produto com grande potencial e passaram a ter grande importância no mundo atual. Tais redes suportam a crescente demanda por comunicações em mobilidade. A disseminação deste tipo de serviço esbarra no alto custo para implementação, que naturalmente é repassado para os clientes, impedindo que a população de baixa renda tenha acesso. Para viabilizar a inclusão digital, o governo tem empregado o programa de cidades digitais para levar acesso à Internet para a população.

Uma solução para infraestrutura de rede das cidades digitais é a implementação de redes WiMAX na faixa de 5,8 GHz, que é uma banda não licenciada. Esta solução permite a otimização de custos, já que ao WiMAX é uma tecnologia aberta e também não seria necessário a emissão de licenças pagas para utilização do espectro. A área de petróleo e gás também poderia usufruir desta solução, visto que as áreas industriais possuem grandes redes de automação que demandam comunicações sem fio pela sua abrangência geográfica.

#### 1.1 MOTIVAÇÃO

As redes WiMAX, amplamente disseminadas pelo mundo, ainda não possuem uma boa representatividade em nosso país e, diante do potencial das redes sem fio na faixa de 5,8 GHz, é interessante entender o comportamento do canal de propagação rádio móvel nesta faixa, para este tipo de sistema.

O estudo do comportamento do canal rádio móvel é importante para o dimensionamento dos sistemas de comunicações sem fio, permitindo estudos de viabilidade técnica pela análise de parâmetros técnicos como a técnica de modulação e codificação mais apropriada, configurações de antenas, necessidade de equalização, entre outras. A análise do comportamento do sinal em faixa estreita fornece dados estatísticos importantes sobre a influência do ambiente e dos desvanecimentos, ajudando a dimensionar a margem necessária para prover comunicações com o nível de serviço desejado.

Para obter o conhecimento sobre o comportamento do canal, são necessárias campanhas de medições no ambiente proposto para obtenção dos dados para análise.

#### 1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é caracterizar o canal de 5,8 GHz em faixa estreita, determinando as distribuições estatísticas que mais se ajustam ao desvanecimento em grande

e pequena escala, pela análise do sinal recebido no ambiente proposto, em área suburbana. Também serão avaliados a taxa de cruzamento de nível, a duração média de desvanecimento e a perda no percurso com comparação entre modelos de cobertura.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo realiza uma breve introdução, apresentando a motivação e o os objetivos para este trabalho. O segundo capítulo aborda aspectos básicos da tecnologia WiMAX. O terceiro capítulo aborda os aspectos de propagação, tratando da propagação em multipercursos, da perda no percurso e da estatística da variabilidade do sinal. O quarto capítulo detalha a campanha de medição realizada em Tanguá. O quinto capítulo apresenta o processamento e análise dos dados. O sexto capítulo realiza a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

#### 2 ARQUITETURA DOS SISTEMAS WIMAX

#### 2.1 A FAMÍLIA DOS PADRÕES IEEE 802.16

A família IEEE 802 define padrões internacionais para redes locais e metropolitanas, atuando, geralmente, sobre a camada física e de enlace. Os padrões IEEE 802, relacionados a redes sem fio, mais conhecidos são:

- IEEE 802.11 (wireless LANs WLAN);
- IEEE 802.15 (wireless personal area networks WPAN);
- IEEE 802.16 (wireless metropolitan area networks WMAN);
- IEEE 802.20 (mobile broadband wireless access MBWA).

O grupo que publicou o padrão IEEE 802.16 tinha como objetivo analisar os problemas relacionados a acessos banda larga sem fio em grandes áreas e recomendar interfaces aéreas e técnicas de modulação. Este padrão, lançado em junho de 2001, inicialmente tinha caráter fixo (*Fixed Broadband Wireless - FBW*) e foi projetado para operar em visada (LOS) com frequências entre 10 e 66 GHz, esquema de modulação de QPSK até 64-QAM e suporte a taxas de 32 Mbps a 134 Mbps. A interface aérea apresentava portadora única com multiplexação TDM/TDMA e foi designada *wireless MAN-SC*. O objetivo era substituir as redes WLL (*Wireless Local Loop*) com qualidade comparável às redes cabeadas (E1, xDSL etc). As vantagens desejadas com esta nova tecnologia eram:

- Fácil implementação, mesmo em áreas de difícil acesso para redes cabeadas;
- Habilidade para superar limitações físicas da infraestrutura cabeada tradicional;
- Custos de instalação razoáveis para suportar altas taxas de dados.

Para atender a outros tipos de aplicação, foi publicado no ano seguinte (2003) o padrão IEEE 802.16a, que tratava da operação sem visada (NLOS) na faixa de 2 até 11 GHz. Este padrão contemplava aplicações de acesso em banda larga fixa sem fio com topologia de rede ponto multiponto. Foram definidos três tipos de interface física:

- *Single Carrier* (SC);
- OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) com 256 subportadoras;

• OFDMA (Orthogonal frequency division multiple access) com 2048 subportadoras.

Apesar das três possibilidades, era desejável que se utilizasse apenas a OFDM por questões de interoperabilidade.

O IEEE 802.16 teve revisão publicada em Outubro de 2004, que ficou conhecida como 802.16-2004 e tinha como título *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System* (interface aérea para sistemas de acesso em banda larga fixa sem fio). Este padrão condensou os anteriores e tornou-se referência para aplicações fixas. Ele apresentava as seguintes opções de interface física:

- Wireless MAN-SC: opção com portadora única para utilização em visada (LOS);
- Wireless MAN-OFDM: apresenta 256 subportadoras e é recomendado para bandas não licenciadas. Utiliza TDM no downlink e TDMA no uplink;
- Wireless MAN-OFDMA: apresenta 2048 subportadoras com acesso dos usuários por OFDMA.

Em 2005, o IEEE publicou a emenda 802.16e, que adicionava características e atributos para suportar mobilidade. Foram considerados os seguintes ambientes móveis:

- Nomádico: o usuário conecta-se, periodicamente, em diferentes estações base e não há suporte para *handover* de aplicações em tempo real;
- Portável: a estação do assinante é um dispositivo móvel e é necessário handover conforme ocorre movimento entre estações rádio base;
- Mobilidade simples: suporta mobilidade em estações que trafeguem até 60
   Km/h com possibilidade de uma pequena interrupção no processo de *handover*;
- Mobilidade plena: suporta mobilidade em estações que trafeguem até 120
   Km/h e sem interrupções perceptíveis no processo de *handover*.

O IEEE 802.16e adota o OFDMA como interface física e suporta duplexação TDD (*time division duplexing*) ou FDD (*frequency division duplexing*), no entanto, foi considerado inicialmente suporte ao TDD.

O padrão IEEE 802.16 mais recente é o 802.16m, que visa atender aos requisitos do *International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced*), que definem o que é necessário para considerar um sistema como 4G.

O desenvolvimento do 802.16m iniciou em 2006, com o objetivo de desenvolver uma interface física OFDMA que atendesse aos requisitos do *IMT-Advanced* e que fosse compatível com os equipamentos que possuíssem interfaces OFDMA legadas. A taxa desejada era de 100 Mbps em alta mobilidade. O IEEE 802.16m foi publicado em Maio de 2011 e também é conhecido como *WIMAX Release* 2.

#### 2.2 TECNOLOGIAS OFDM E OFDMA

Conforme mencionado anteriormente, o WIMAX utiliza em sua interface física o OFDM para aplicações fixas e o OFDMA para aplicações móveis. Neste item serão apresentadas ambas as tecnologias.

#### 2.2.1. OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing)

Em um ambiente de transmissão real, a propagação em multipercursos e as reflexões fazem com que os sinais sofram retardos até chegarem ao destino. Estes sinais também sofrem desvanecimento seletivo em frequência em função dos multipercursos. Quando uma portadora carrega altas taxas de dados, os sinais recebidos sofrem espalhamento de retardo de forma que elas passam a ocupar os intervalos de tempo de outras e causando, assim, a interferência intersimbólica.

A tecnologia OFDM é baseada no uso de um grande número de subportadoras alocadas em uma banda determinada, onde cada uma é modulada proporcionalmente por uma taxa de dados inferior ao que seria no caso da transmissão por portadora única. Ela é comumente utilizada para atingir altas taxas de dados em ambientes sujeitos ao desvanecimento seletivo em frequência e interferência intersimbólica, permitindo uma transmissão robusta em ambientes sem visada (NLOS).

Para exemplificar, podemos citar o exemplo de uma banda de 10 MHz que comporta 1024 subportadoras, cada uma carregando um centésimo da taxa de dados de uma transmissão com portadora única. A menor taxa de dados por subportadora aumenta a duração do símbolo de forma proporcional. Utilizando uma taxa de 10 Mbps com modulação QPSK (2 bits por símbolo) tem-se uma taxa de símbolos de 5 M símbolos/seg ou um tempo por símbolo de 0,2 µs. Considerando a velocidade da luz para a propagação, um objeto em ambiente urbano

posicionado a 1 Km de distância gera um retardo de 6,6 μs. Desta forma, o sinal refletido estará totalmente fora de sincronismo com o sinal direto, entretanto, se forem utilizadas 1024 subportadoras, cada uma com 5 K símbolos/seg e duração de símbolo de 200μs, o retardo de 6,6 μs será menor que 1/30 da duração do símbolo.

A estratégia de incremento no número de subportadoras ajuda a aumentar a robustez do sinal em relação aos multipercursos, mas para a propagação em um ambiente real é necessária outra característica, a ortogonalidade. Uma portadora é considerada ortogonal em relação à outra quando um de seus zeros coincide com o máximo da portadora vizinha, de forma que a portadora vizinha não seja afetada pela presença dela. Em um sistema OFDM, cada subportadora é ortogonal em relação às outras, de forma que as bandas laterais se cancelam em vez de interferir na subportadora adjacente.

#### 2.2.1.1. Ortogonalidade no domínio da frequência

A ortogonalidade das subportadoras, na teoria, poderia ser atingida através do uso de filtros perfeitos, o que implicaria em um número infinito de iterações na IFFT. Em uma implementação real, utiliza-se uma banda de guarda entre dois símbolos para que a interferência intersimbólica fique limitada nesta banda e não afete o próximo símbolo. Para um grupo de subportadoras ser ortogonal, o máximo de uma subportadora em particular deve coincidir com os zeros de todas as outras. Sendo Ts o tempo de duração de um símbolo onde uma determinada subportadora está presente, para garantir a ortogonalidade, a próxima subportadora deve estar separada da anterior por 1/Ts Hz. Considerando que a primeira subportadora está na frequência  $f_0$ , a seguinte deve estar em  $f_0 + 1/Ts$  e a próxima em  $f_0 + 2/Ts$  e assim em diante. Desta forma podem-se determinar as frequências das subportadoras pela fórmula  $f_0 = f_0 + n/Ts$ , onde n é o número de cada. O espaçamento é dado por  $\Delta f_0 = 1/Ts$ .

Para exemplificar, consideremos a transmissão de um símbolo com duração Ts e no domínio da frequência com 256 subportadoras mapeadas, espaçadas por  $\Delta f = 1/Ts$ . Todas as subportadoras persistem por um período Ts, desta forma, um símbolo OFDM gera todas as 256 subportadoras simultaneamente e após o intervalo de guarda, o próximo símbolo gera 256 subportadoras novamente por um período Ts. Como as subportadoras são ortogonais, elas não interferem entre si e podem ser convertidas em símbolos OFDM no receptor.

A quantidade de dados transmitidos depende do que se espera em termos de interferência intersimbólica e considerando um espalhamento de retardo de 10 µs, o intervalo de guarda deverá ser superior a este para evitá-la. Estabelecendo o período de símbolo onze

vezes maior que o espalhamento, teremos 100 μs, permitindo um espaçamento de 10 kHz. Em um canal de 5 MHz é possível acomodar 512 subportadoras.

#### 2.2.1.2. Representação no domínio do tempo

Para representar os sinais no domínio do tempo, é aplicada a Transformada de Fourier Discreta Inversa (IDFT – *Inverse Discrete Fourier Transform*). No domínio da frequência, os sinais são representados por subportadoras espaçadas na frequência, enquanto no tempo, eles são representados por símbolos separados no tempo. A transformada é denominada discreta por se aplicar em amostras dos sinais em intervalos de tempo determinados.

A banda de guarda é necessária em uma transmissão real para que se evite a interferência intersimbólica conforme visto anteriormente. A sua transmissão pode ser realizada por um valor nulo ou pela extensão cíclica do símbolo transmitido. A extensão cíclica também é conhecida como prefixo cíclico, que é a repetição no início de um símbolo OFDM de parte do sinal deste mesmo símbolo. O esperado é que os sinais recebidos com retardo caiam no período do prefixo cíclico, que não carrega informação.

#### 2.2.1.3. Geração de um sinal OFDM

O processo de modulação OFDM simplificado é demonstrado na figura 2.1. Na entrada do modulador, há um fluxo de bits com taxa B bits/seg. Após passar pelo modulador QAM, os sinais estão em forma de símbolos representados por matrizes de vetores. O fluxo de símbolos é, então, subdividido em N subfluxos no conversor serial-paralelo, onde N é o número de subportadoras. Em seguida eles passam pela IFFT e é adicionado o prefixo cíclico para inserir a banda de guarda. A IFFT gera as subportadoras OFDM em banda base, que serão moduladas em RF na frequência desejada.

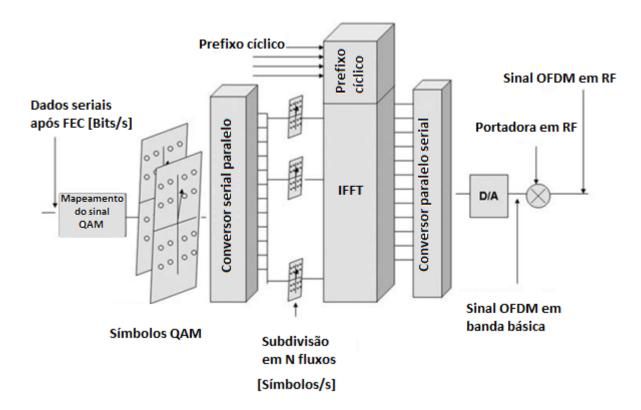


Figura 2.1: processo de modulação OFDM simplificado

O processo de demodulação de um sinal OFDM é similar, mas utiliza-se a DFT para coverter os sinais no domínio da frequência para o domínio do tempo.

#### 2.2.2. OFDMA (*Orthogonal frequency division multiple access*)

O OFDMA (*Orthogonal frequency division multiple access*) é uma tecnologia de múltiplo acesso e multiplexação que permite o compartilhamento do canal de transmissão entre múltiplos usuários.

O OFDMA realiza o múltiplo acesso ao dividir a banda de frequência em várias subportadoras, que são compartilhadas por um ou mais usuários no mesmo símbolo. Neste ponto, o OFDMA se diferencia da OFDM, no qual as subportadoras são alocadas a um único usuário. Esta tecnologia se assemelha ao FDMA, diferenciando-se por apresentar ortogonalidade entre as portadoras, permitindo a sobreposição das mesmas, pois elas não se afetam.

Como vantagens, o OFDMA apresenta: eficiência na utilização da banda, robustez ao desvanecimento por multipercursos, diversidade no domínio da frequência de multiusuários (pela alocação das portadoras dentro de um mesmo símbolo OFDM para um ou mais usuários).

A figura 2.2 exemplifica o processo de transmissão OFDMA. O sinal de entrada é, inicialmente, codificado e modulado. Em seguida, é mapeado em múltiplas subportadoras OFDMA. Os sinais paralelos resultantes sofrem transformada IDFT, são filtrados e convertidos em sinais analógicos, que serão transmitidos em RF na frequência desejada. Na recepção é realizado o processo inverso, com uso da DFT ao invés da IDFT.

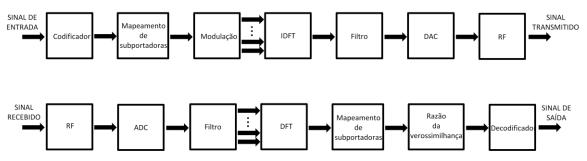


Figura 2.2: Processo de transmissão OFDMA

#### 2.3 INTERFACE FÍSICA DO WIMAX

Neste item será abordada a interface física do WIMAX na modalidade fixa (802.16-2004).

#### 2.3.1 WIMAX fixo (802.16-2004)

A interface física do WIMAX fixo é baseada no uso da tecnologia OFDM com 256 subportadoras, que são geradas por uma IFFT de 256 pontos. A quantidade de dados transportada depende da largura de banda do canal. Das 256 subportadoras, 192 transportam dados, 56 exercem função de banda de guarda e 8 são piloto. Das 56 subportadoras de banda de guarda, 27 são de banda superior, 26 de banda inferior. Apenas 200 subportadoras são ativas, sendo 192 de dados e 8 pilotos.

As subportadoras são separadas por intervalos de guarda para reduzir os efeitos da interferência intersimbólica. O intervalo de guarda pode ter os como valores 1/32, 1/16, 1/8 ou 1/4, e é especificado de acordo com a banda. Para a banda de 3,5 MHz é comum utilizar banda de guarda de 1/8. Calculando o espaçamento em frequência, temos 15.625 KHz, que corresponde a intervalo de símbolo de 64 μs. O tempo de guarda será 8 μs e a duração total do símbolo OFDM, composta pela banda de guarda e a subportadora, será de 72 μs. Na prática, a banda de guarda não é vaga, pois carrega o prefixo cíclico.

No cálculo do espaçamento do parágrafo anterior, foi utilizado um fator de sobreamostragem (*oversampling*) para gerar as bandas de guarda. Para as frequências múltiplas de 1,75 MHz o fator de sobreamostragem é de 8/7.

Os sistemas WiMAX podem operar tanto em FDD quanto em TDD. No FDD existem frequências distintas para *uplink* e *downlink*, já no TDD a frequência é compartilhada e a duplexação é feita por divisão no tempo. No TDD, a divisão da taxa total entre *downlink* e *uplink* é realizada de acordo com a demanda, através da alocação de um quantitativo de subcanais ou símbolos OFDM para transmissão em cada sentido.

Os sistemas WiMAX possuem configuração em Ponto-Multiponto onde a estação base transmite no *downlink* para todas as estações clientes. As transmissões de diferentes estações clientes ocorrem em intervalos de tempo determinados no modo TDD e em subportadoras fixas no FDD. O sistema permite que seja configurada subcanalização de forma a designar uma parte da largura de banda para cada estação cliente, promovendo otimização do espectro.

A subcanalização é realizada apenas no *uplink*, das estações clientes para a estação base. São definidos 16 subcanais a serem designados em diferentes quantidades (1, 2, 4, 8 e 16) para as estações clientes e apenas uma estação pode transmitir em um subcanal particular a cada período de tempo. Em um sistema com 192 subportadoras, cada subcanal possui 12 subportadoras no domínio da frequência. Esta funcionalidade permite que os CPE's (*Customer Premises Equipment*) transmitam pequenos blocos de dados, mantendo uma baixa latência. Por outro lado, na duração de um símbolo OFDM onde existam 16 subcanais, 16 estações clientes podem transmitir simultaneamente se for alocado um subcanal para cada uma.

## 3 TEORIA DE PROPAGAÇÃO NO CANAL RÁDIO MÓVEL

## 3.1 EFEITOS DE PROPAGAÇÃO

Em uma comunicação via canal rádio móvel, as ondas eletromagnéticas transmitidas normalmente não chegam até a antena de recepção diretamente, isto por causa dos obstáculos presentes entre o transmissor e o receptor. O que acontece de fato, é que as ondas recebidas são a composição por superposição de ondas de diversas direções geradas pelos efeitos de difração, reflexão e espalhamento. Estes efeitos são causados por elementos presentes no meio de transmissão, como edificações, vegetação, veículos e outros tipos de obstáculos.

Devido à propagação por multipercursos, o sinal recebido consiste de um somatório de réplicas do sinal transmitido que sofreram atenuação, atraso e desvios de fase. Dependendo da fase de cada sinal, poderá ocorrer superposição construtiva ou destrutiva. Considerando estes efeitos, na transmissão de um sinal digital, a forma do pulso transmitido pode ser distorcida e, devido a este fato, diversos outros pulsos serem recebidos pelos efeitos da propagação em multipercursos. Como consequência, o canal distorce a resposta em frequência do sinal transmitido. Estas distorções causadas pela propagação em multipercursos são lineares e precisam ser compensadas pelo receptor, por exemplo, através de um equalizador.

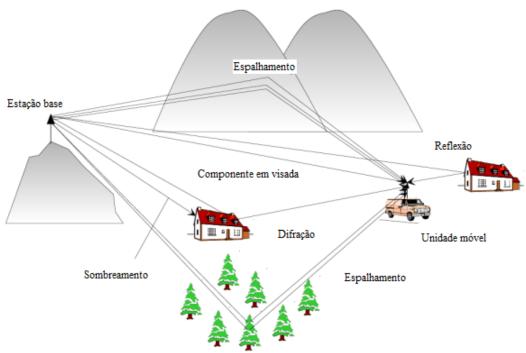


Figura 3.1: Propagação em multipercursos.

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CANAL EM FAIXA ESTREITA

Para caracterizar o canal em faixa estreita, transmite-se um tom de frequência para sondagem, também conhecido como CW (*continuous wave*). A representação em frequência deste sinal é um impulso na frequência do tom. Desta forma, é realizada a sondagem do canal em apenas uma frequência, praticamente.

Nas medições para realizar a caracterização em faixa estreita, o tom é transmitido e são feitas medidas em um receptor que se movimenta por rotas determinadas. Nessas medidas observam-se variações no sinal, que são causadas pela propagação em multipercursos.

Pelas medidas em faixa estreita, é possível analisar no sinal recebido:

- Desvanecimento em grande escala;
- Desvanecimento em pequena escala;
- Dependência com a distância;
- Frequência instantânea do sinal;
- Despolarização sofrida pela onda.

Através do processamento dos dados adquiridos pela medição em faixa estreita, é possível obter outros parâmetros como a taxa de cruzamento de nível (LCR), a duração média de desvanecimento (AFD) e o FM aleatório. Também é possível ajustar as distribuições estatísticas ao comportamento da variabilidade do sinal em pequena e larga escala, além da cobertura, que é a partida para o planejamento do sistema que se deseja desenvolver.

#### 3.3 PERDA NO PERCURSO (PATH LOSS)

A perda no percurso ocorre em função da distância entre o transmissor e o receptor e está relacionada à atenuação média do sinal. Na propagação em espaço livre, a potência recebida varia com o quadrado da distância [3], mas no canal radio móvel, ela costuma variar com outros expoentes, devido às características físicas do local onde há a transmissão.

Existem vários métodos para realizar a predição da perda no percurso, que costumam ser utilizados para o planejamento de sistemas celulares. Os modelos aplicados neste trabalho para, onde a frequência utilizada foi de 5,765 GHz, foram o, COST231–Hata [8], SUI [13 14] e o proposto pela UFPA (Universidade Federal do Pará) [2].

#### 3.3.1 Modelo Okumura-Hata

Por ser a base do modelo COST231-Hata, o modelo de Okumura-Hata é tratado neste item. Os dados empíricos deste modelo foram coletados por Okumura [15] na cidade de Tóquio, no Japão, através de extensa campanha de medições. Este modelo é simples e de fácil utilização, sendo expresso em termos da frequência da portadora (f), altura da antena da estação transmissora  $(h_b)$ , altura da antena do móvel  $(h_m)$  e distância (d).

Os limites para cada parâmetro são:

150 < f < 1000, em MHz.

 $30 < h_b < 200$ , em m.

 $1 < h_m < 10$ , em m.

1 < d < 20, em km.

Neste modelo, a perda no percurso é dada por:

$$A_{prop(dB)} = \begin{cases} A + B \log(d) \text{ , para áreas urbanas} \\ A + B \log(d) - C \text{ , para áreas suburbanas} \\ A + B \log(d) - D \text{ , para áreas abertas} \end{cases} \tag{3.1}$$

onde:

$$A = 69,55 + 26,16 \log(f) -13,82 \log(h_b) - a(h_m)$$
(3.2)

$$B = 44.9 + 6.55 \log (h_b)$$

$$C = 5.4 + 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2$$

$$D = 40.94 + 4.78 \left[ \log (f) \right]^2 - 18.33 \log (f)$$

$$a(h_m) = \begin{cases} (1,1 \, \log(f) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f) - 0.8), \text{ para cidades pequenas e médias} \\ 8.28 [\log(1.54 \, h_m)]^2 - 1.1, \text{ para f } \leq 200 \, \text{MHz e cidades grandes} \\ 3.2 [\log(11.75 \, h_m)]^2 - 4.97 \, \text{para f} \geq 400 \, \text{MHz e cidades grandes} \end{cases}$$
 (3.3)

#### 3.3.2 Modelo COST 231-Hata

O modelo COST 231–Hata é a extensão do modelo de Okumura-Hata para frequências de portadoras na faixa de 1500 a 2000 MHz e, mais recentemente, estendido até 6 GHz [11]. Este modelo é expresso e em termos da frequência da portadora (f), altura da antena da estação transmissora  $(h_b)$ , altura da antena do móvel  $(h_m)$  e distância (d).

Os limites para cada parâmetro são:

1500 < f < 6000, em MHz.

 $30 < h_b < 200$ , em m.

 $1 < h_m < 10$ , em m.

1 < d < 20, em km.

A perda no percurso é dada por:

$$A_{prop(dB)} = A + B \log(h_b) - a (h_m) + C$$

$$(3.4)$$

onde:

$$A = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(h_b) - a (h_m)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b)$$
(3.5)

 $C = \left\{ \begin{aligned} 0 \text{ , para áreas urbanas com vegetação moderada} \\ 3 \text{ , para áreas metropolitanas} \end{aligned} \right.$ 

e a ( $h_m$ ) é a mesma equação do modelo Okumura-Hata em (3.3).

#### 3.3.3 Modelo SUI

A sigla SUI significa *Stanford University Interim*, universidade que contribuiu para criação deste modelo [13 14]. Sua equação de perda média de propagação no percurso é baseada no modelo de Erceg [13], adicionando termos de correção para frequência e altura de antena receptora.

A perda no percurso é dada por:

$$A_{prop\_Modificado} = A_{prop} + \Delta A_{prop\_f} + \Delta A_{prop\_h}$$
(3.6)

O termo  $A_{prop}$  é a perda no percurso dada pelo modelo de Erceg:

$$A_{prop} = \left[ A_0 + 10 \left( a - bh_b + \frac{c}{h_b} \right) \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \right] + s , \qquad d > d_0$$
 (3.7)

onde:

 $d_0 = 100 \text{ m}.$ 

$$A_0 = 20 \log \left( \frac{4\pi d_0}{\lambda} \right).$$

Os termos  $\Delta A_{prop\_f}$  e  $\Delta A_{prop\_h}$  são os fatores para correção de frequência e altura da antena receptora respectivamente:

$$\Delta A_{prop_{-}f} = 6\log \frac{f(MHz)}{2000} \tag{3.8}$$

$$\Delta A_{prop_h} = -10.8 \log \left(\frac{h_m}{2}\right)$$
, para categorias A e B (3.9)

$$\Delta A_{prop_h} = -20 \log \left( \frac{h_m}{2} \right)$$
, para categoria C (3.10)

onde  $2 \le h \le 10$  e  $h_m$  é a altura da antena móvel, em metros, e as categorias são distintas conforme tabela 3.1.

Tabela 3.1: Categorias de terreno do Modelo SUI

A	4	Terreno montanhoso com densidade de árvores moderada a alta		
I	3	Terreno montanhoso com densidade de árvores leve ou plano com densidade de árvores moderada a alta		
(	C	Terreno plano com densidade de árvores leve		

Os valores das constantes a, b e c variam de acordo com o tipo de terreno, A, B ou C. A tabela 3.2 mostra esta correlação.

Tabela 3.2: Constantes do Modelo SUI

Constante	A	В	C
a	4,6	4	3,6
b	0,0075	0,0065	0,005
С	12,6	17,1	20

#### 3.3.4 Modelo proposto pela UFPA para a faixa de 5,8 GHz

O modelo de cobertura proposto pela Universidade Federal do Pará, para a frequência de 5,8 GHz [2], baseia-se na equação 3.11.

$$L_{MP} = K_1 \log(d) + K_2 \log(f) + K_0 \tag{3.11}$$

onde:

 $K_1$  e  $K_2$  são parâmetros a serem obtidos com mínimos quadrados lineares.

d é a distância em metros.

f é a frequência em MHz.

 $K_0$  é o fator de correção.

O fator de correção  $K_0$  relaciona a alturas das antenas transmissoras e receptoras, e também a altura das possíveis obstruções, como construções e vegetações. Ele é determinado pela fórmula (3.12).

$$K_0 = a - bX \tag{3.12}$$

onde:

a e b são parâmetros a serem ajustados por mínimos quadrados lineares.

X é a variável do polinômio.

O parâmetro *X* é definido na equação empírica 3.13.

$$X = \frac{(H_B + H_M)\lambda}{0.1H_{OB}} \tag{3.13}$$

onde:

 $H_B$  é a altura da estação base, em m.

 $H_M$  é a altura da estação móvel, em m.

 $\lambda$  é o comprimento de onda, em m.

 $H_{OB}$  é a altura média das construções, em m.

#### 3.4 DESVANECIMENTO EM GRANDE ESCALA (SOMBREAMENTO)

O desvanecimento em grande escala é ocasionado por obstruções, situadas entre o transmissor e o receptor, que levam à variação de longo termo da potência do sinal recebido.

Estas variações são originadas pela difração ou espalhamento do sinal transmitido de acordo com o movimento relativo do receptor. Quando o transmissor e o receptor estão a grandes distâncias, estas variações também podem ocorrer por mudanças significativas das condições climáticas. O desvanecimento em grande escala é, normalmente, modelado por uma distribuição lognormal com desvio padrão típico de, aproximadamente, 8 dB para o ambiente celular.

O sinal rádio móvel é formado por duas componentes de desvanecimento, a de pequena escala, causada pelos multipercursos, e a de larga escala, pelo sombreamento. A envoltória do sinal pode ser expressa pelo produto das duas, ou seja [15]:

$$z(t) = x(t)y(t) \tag{3.14}$$

A componente x(t) denota a envoltória afetada pelo desvanecimento em pequena escala, que apresenta em geral uma distribuição semelhante a Rayleigh, em ambientes sem visada. Já a componente y(t) representa a componente de desvanecimento em larga escala, com distribuição lognormal, em geral. A resultante z(t) apresenta uma distribuição conhecida por Suzuki.

A distribuição de Suzuki é difícil de ser tratada matematicamente e, em determinadas situações, pode ser feita aproximação de z(t) com a distribuição lognormal.

A função densidade de probabilidade lognormal é representada por [6]:

$$p(R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_R}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{R - m_R}{\sigma_R}\right)^2\right]$$
 (3.15)

Onde  $m_R$  e  $\sigma_R^2$  representam o valor médio e a variância de R em dB.

Quando *R* não é expresso em escala logarítmica, a distribuição é denominada normal. Esta distribuição também é conhecida como gaussiana e pode ser aplicada na análise do desvanecimento em pequena escala, quando há grande contribuição do raio direto e efeito desprezível dos multipercursos. O desvanecimento em pequena escala é abordado no próximo item.

#### 3.5 DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA

O desvanecimento em pequena escala é resultado da grande variação do nível do sinal em um curto espaço de tempo. Esta variação é gerada pela composição, no receptor, de diversas componentes de multipercursos do sinal transmitido.

Os efeitos do desvanecimento em pequena escala são mais presentes em ambientes urbanos, onde é comum não haver visada direta entre o transmissor e o receptor, além de existir em diversos elementos que favorecem os fenômenos de reflexão, difração e espalhamento.

#### 3.5.1 Distribuições estatísticas associadas ao desvanecimento em pequena escala

Neste trabalho, foram utilizadas as seguintes distribuições estatísticas (f.d.p) para associar à variabilidade rápida do sinal: Rayleigh, Rice, Nakagami, Alfa-Mi  $(\alpha-\mu)$  e Gaussiana.

#### 3.5.1.1 Distribuição de Rayleigh

Os receptores rádio, normalmente, não possuem a habilidade para detectar as componentes I(t) (em fase) e Q(t) (em quadratura) da envoltória complexa do sinal que chega a cada instante à sua entrada e, por isso, trabalham com a envoltória e/ou a fase do sinal complexo.

A envoltória r(t) do sinal g(t) = I(t) + jQ(t) é dada por:

$$r(t) = [I^{2}(t) + Q^{2}(t)]^{1/2}$$
(3.16)

A envoltória do sinal composto no receptor consiste do somatório de um grande número de ondas planas [3] e pode ser tratada como um processo aleatório complexo gaussiano de sentido amplo. Em ambientes onde o transmissor está consideravelmente afastado do receptor e considerando a dispersão como isotrópica em duas dimensões, as componentes I(t) e Q(t) são variáveis aleatórias gaussianas independentes com média nula e variância  $\sigma^2$ . Sob estas condições, a magnitude da envoltória do sinal complexo recebido r(t) = |g(t)|, possui distribuição de Rayleigh, cuja função densidade de probabilidade (f.d.p) é dada por:

$$p_{r}(r) = \frac{r}{\sigma^{2}} \exp\left(-\frac{r^{2}}{2\sigma^{2}}\right)$$
 (3.17)

#### 3.5.1.2 Distribuição de Rice

Em diversos cenários de propagação com mobilidade quando existe visada entre o transmissor e o receptor ou, pelo menos, uma componente especular dominante, fato comum em pico células ou micro células de sistemas celulares, a f.d.p. de Rice costuma ser a mais adequada para representar a estatística da variabilidade de pequenas escala.

A f.d.p. conjunta da envoltória e fase de um sinal com uma componente dominante  $r_s$  é dada por [9]:

$$p(r,\theta) = \frac{2}{2\pi\sigma^2} \exp\left(\frac{-r^2 + r_s^2 - 2rr_s \cos\theta}{2\sigma^2}\right)$$
(3.18)

A f.d.p. da envoltória é encontrada integrando em  $\theta$ :

$$p_{r}(r) = \frac{r}{\sigma^{2}} \exp\left(\frac{-r^{2} + r_{s}^{2}}{2\sigma^{2}}\right) I_{0}\left(\frac{rr_{s}}{\sigma^{2}}\right)$$
(3.19)

 $I_0$  é a função de Bessel modificada de primeiro tipo e ordem zero. Esta distribuição é conhecida como distribuição de Rice. Ela se transforma na distribuição de Rayleigh quando  $r_s$  é zero, ou seja, não há visada entra as antenas transmissora e receptora.

A distribuição de Rice costuma ser descrita em termos do parâmetro K [10], ou seja:

$$K = \frac{r_s^2}{2\sigma^2} \tag{3.20}$$

e a f.d.p. passa a:

$$P_{r}(r) = \frac{-2r10^{k/10}}{r_{s}^{2}} \exp\left(-\frac{10^{k/10}}{r_{s}^{2}} \left(r^{2} + r_{s}^{2}\right)\right) I_{0}\left(\frac{2r10^{k/10}}{r_{s}}\right) (3.21)$$

Quando K tende a zero, a f.d.p. tende para uma distribuição Rayleigh, mas quando K>>1 a f.d.p. torna-se Gaussiana com valor médio r<sub>s</sub>.

#### 3.5.1.3 Distribuição de Nakagami

A distribuição de Nakagami foi concebida, inicialmente, para caracterizar o desvanecimento em pequena escala para longas distâncias, na faixa de HF. Esta distribuição é conhecida por apresentar melhor ajuste para determinados dados quando comparada com Rayleigh, Rice ou lognormal.

A f.d.p. desta distribuição é dada por [7]:

$$p(r) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{\Omega}\right)^m r^{2m-1} e^{-\frac{mr^2}{\Omega}}$$
(3.22)

Onde  $\Omega = E(r^2)$  e  $\Gamma$  é a função Gamma, definida por:

$$\Gamma(\mathbf{m}) = \int_0^\infty x^{m-1} e^{-x} dx \tag{3.23}$$

O parâmetro m é definido como a razão dos momentos e é denominado fator de desvanecimento, sendo expresso por:

$$m = \frac{\Omega^2}{E[(r^2 - \Omega)^2]}, m \ge \frac{1}{2}$$
 (3.24)

A distribuição de Nakagami permite modelar condições de desvanecimento mais ou menos severas do que as mencionadas anteriormente (Rayleigh, Rice e gaussiana), além de poder se aproximar destas. Esta flexibilidade se dá pela presença de dois parâmetros para ajuste,  $\Omega$  e m. Apesar das vantagens, nem sempre é pertinente utilizar esta distribuição, e por haver mais parâmetros, mais tempo e trabalho são necessários para processamento.

#### 3.5.1.4 Distribuição α-μ

As distribuições mais conhecidas para caracterizar o desvanecimento foram desenvolvidas considerando ambientes com campo de espalhamento homogêneo, resultante de elementos espalhadores distribuídos aleatoriamente. Esta metodologia é uma aproximação, pois não considera a não linearidade do meio de propagação. A distribuição α-μ foi proposta para explorar esta não linearidade. É uma versão reescrita da distribuição Gamma generalizada, proposta por Stacy [16]. Esta distribuição é de fácil tratamento matemático e

flexível, permitindo derivar outras distribuições, como: Gamma, Weibull, Gaussiana unilateral e Rayleigh.

A f.d.p desta distribuição é dada por:

$$P_{r}(r) = \frac{\alpha \mu^{\mu} r^{\alpha \mu - 1}}{r^{\alpha \mu} \Gamma(\mu)} \exp\left(-\mu \frac{r^{\alpha}}{r^{\alpha}}\right)$$
(3.25)

$$\mu = \frac{E^2(R^\alpha)}{V(R^\alpha)} \tag{3.26}$$

Onde  $\mu$  é o inverso da variância de R<sup> $\alpha$ </sup> normalizada e representa o número real de *clusters* (conjunto de ondas espalhadas). O  $\alpha$  é o parâmetro de não linearidade,  $\hat{r}$  é o valor eficaz de R e  $\Gamma$  é a função Gamma.

# 3.6 TAXA DE CRUZAMENTO DE NÍVEL E DURAÇÃO MÉDIA DE DESVANECIMENTOS

As informações estatísticas relacionadas com a variabilidade do sinal, citadas anteriormente, são conhecidas como estatísticas de primeira ordem. As estatísticas de segunda ordem recebem esta denominação por não serem afetadas apenas pelo ambiente de propagação, mas, também, pela velocidade do receptor.

As estatísticas de segunda ordem mais importantes são a taxa de cruzamento de nível (LCR – *Level Crossing Rate*) e a duração média de desvanecimentos (AFD – *Average Fading Duration*).

A taxa de cruzamento de nível em qualquer nível especificado é definida como a taxa esperada com que a envoltória do sinal cruze este nível na direção positiva ou negativa. Já a duração média de desvanecimentos é o período médio que o sinal permanece abaixo de um nível determinado, aqui considerado o valor eficaz da envoltória.

Para encontrar a taxa de cruzamento de nível, é necessário saber a função densidade probabilidade conjunta  $p(R,\dot{r})$  no nível R especificado e a inclinação da curva  $\dot{r}$  (dr/dt).

Em termos de  $p(R,\dot{r})$ , a taxa de cruzamento de nível é dada por:

$$N_{R} = \int_0^\infty \dot{r} \, p(\mathbf{R}, \dot{r}) \, dr \tag{3.27}$$

$$p(R,\dot{r}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{0}^{2\pi} p(R,\dot{r},\theta,\dot{\theta}) d\theta d\dot{\theta}$$
 (3.28)

 $N_R$  pode ser determinada para as diferentes f.d.p.'s [1] , após longo desenvolvimento, chegando a:

Rayleigh: 
$$N_R(\rho) = \sqrt{2\pi} f_m \rho \exp(-\rho^2)$$
 (3.29)

Rice: 
$$N_R(\rho) = \sqrt{2\pi(K+1)} f_m \rho \exp(-K - (k+1)\rho^2) I_0(2\rho\sqrt{K(K+1)})$$
 (3.30)

Nakagami: 
$$N_R(\rho) = \sqrt{2\pi} f_m \frac{m^{m-\frac{1}{2}}}{\Gamma(m)} \rho^{2m-1} \exp(-m\rho^2)$$
 (3.31)

Em geral, a LCR é escrita em função da variável  $\rho$  (valor eficaz da envoltória), definida como:

$$\rho = \frac{R}{\sqrt{2}\sigma} \tag{3.32}$$

A fração de tempo total que o sinal permanece abaixo do nível R é  $P_r(R)$  e a duração média de desvanecimento (AFD – *Average Fading Duration*) é dada por [3]:

$$E(\tau_R) = \frac{\Pr(R)}{N_r} \tag{3.33}$$

Aplicando a substituição às diferentes f.d.p.'s, obtém-se [1]:

Rayleigh: 
$$E(\tau_R) = \frac{\exp(\rho^2) - 1}{\sqrt{2\pi} f_m \rho}$$
 (3.34)

Rice: 
$$E(\tau_R) = \frac{1 - Q(\sqrt{2K}, \sqrt{2(K+1)\rho^2})}{\sqrt{2\pi(K+1)}f_m\rho\exp(-K - (k+1)\rho^2)I_0(2\rho\sqrt{K(K+1)})}$$
 (3.35)

Nakagami: 
$$E(\tau_R) = \frac{\Gamma(m, m\rho^2)}{\sqrt{2\pi} f_m m^{\frac{m-1}{2}}} \rho^{2m-1} \exp(-m\rho^2)$$
 (3.36)

# 4 CAMPANHA DE MEDIÇÃO

### 4.1 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE DE MEDIÇÃO

O ambiente escolhido para as medições é a cidade de Tanguá, que apresenta ambientes suburbanos e rurais. Os equipamentos da estação transmissora foram acomodados na Câmara Municipal de Tanguá e os equipamentos da receptora, em um veículo específico para medições. Foram percorridas rotas pelas ruas da cidade, ilustrada pela figura 4.1.



Figura 4.1: Rotas percorridas em Tanguá.

A figura 4.2 mostra a visada do transmissor posicionado no topo do prédio, localizado em uma parte mais alta da cidade, de forma a iluminar a região de interesse.



Figura 4.2: Visada do transmissor

# 4.2 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO SETUP DE MEDIÇÃO

No transmissor, foi gerado um sinal CW (*continuous wave*) com frequência de 5,765 GHz no gerador vetorial de sinais. Já no receptor, foi utilizado um analisador vetorial de rede como analisador de espectro, tendo conectado em sua saída de vídeo a placa de aquisição de dados. Os equipamentos da transmissora foram montados no terraço da Câmara Municipal de Tanguá, que é um prédio de dois andares localizado em uma das áreas de maior altitude desta cidade. Os equipamentos da receptora foram montados em uma van, preparada para receber equipamentos de telecomunicações, denominada laboratório móvel de telecomunicações e ilustrada na figura 4.3.



Figura 4.3: Viatura de medição

#### 4.2.1 Descrição do setup de transmissão

Na estação transmissora, foram utilizados os seguintes equipamentos de forma a ter o sinal CW em 5,765 GHz para transmissão:

- Gerador de sinal vetorial modelo MG3700A do fabricante Anritsu.
- Amplificador de potencia modelo ZVE-3W-83+ do fabricante Mini-Circuits;
- Antena Setorial 90° modelo OIW-5817P090V 5.8 GHz;
- Dois cabos coaxiais, sendo um dos cabos com 4 metros de comprimento e perda de 8 dB, que liga a saída do amplificador de potência à antena, e o outro

com 1,5 metro e perda de 6 dB, que liga o gerador à entrada do amplificador de potência. As perdas dos conectores SMA-N estão inclusas.

O sinal gerado pelo MG3700A tem potência de saída de +3 dBm, que é a máxima recomendada para o equipamento na frequência de 5,765 GHz. Este sinal passa pelo amplificador de potência, com ganho de 28 dB, de onde vai para a antena, para ser irradiado.

A antena transmissora foi instalada em um mastro de 3 metros de altura, com seguintes coordenadas geográficas:

• Latitude: S 22,73619°

• Longitude: W 42,71886°

• Altitude: 49 m

• Altura da antena: 49 m + 3 m = 52 m

A figura 4.4 ilustra a montagem do sistema de transmissão e a 4.5 o seu diagrama de blocos.



Figura 4.4: Montagem dos equipamentos de transmissão

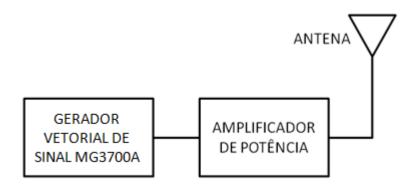


Figura 4.5: Diagrama de blocos do setup de transmissão

#### 4.2.2 Descrição do setup de recepção

Os equipamentos para recepção do sinal foram instalados em uma viatura preparada para medições, com infraestrutura necessária para a instalação de equipamentos de telecomunicações em seu interior.

Os equipamentos utilizados na receptora foram:

- Antena omnidirecional com ganho de 17 dBi para a faixa de 5,275 a 5,875
   GHz;
- Amplificador de baixo ruído (LNA) com ganho de 33 dB;
- Analisador de sinais de alto desempenho modelo *Signature* MB2781B do fabricante Anritsu;
- Placa de aquisição de dados modelo USB 6212-BNC do fabricante National Instruments;
- *Notebook* com o programa *LabVIEW 2010* instalado;
- GPS modelo GPSmap62 do fabricante Garmin;
- Dois cabos coaxiais, ambos com 1.5 metro de comprimento e perda de 5 dB.

A antena omnidirecional foi instalada no teto da van, sendo conectada pelo cabo coaxial à entrada do LNA. O analisador *Signature* foi conectado à saída do LNA pelo outro cabo coaxial e à placa de aquisição na saída de vídeo.

O GPS também foi conectado no *Signature* por cabo USB, tendo, desta forma, as coordenadas das rotas traçadas salvas na memória do analisador.

Os sinais recebidos pela antena são aquisitados pela placa USB 6212-BNC, que registra o nível do sinal da saída de vídeo do analisador, em volts. Esta placa está conectada ao *notebook* com o programa LabVIEW, onde são salvas as amostras.

Anritsu

The first part of the

A figura 4.6 mostra o analisador de espectro com o sinal na sua tela.

Figura 4.6: Analisador de sinais Signature

A placa de aquisição é conectada ao *notebook* com o LabVIEW instalado, via USB, como é ilustrado na figura 4.7. O diagrama de *blocos* do setup de recepção é mostrado pela figura 4.8.

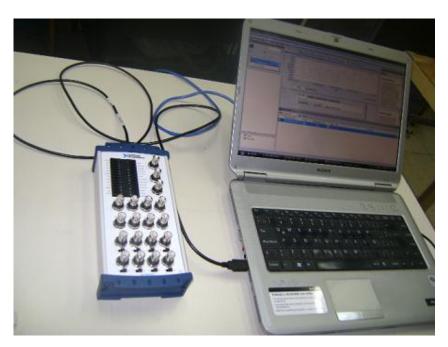


Figura 4.7: Placa de aquisição

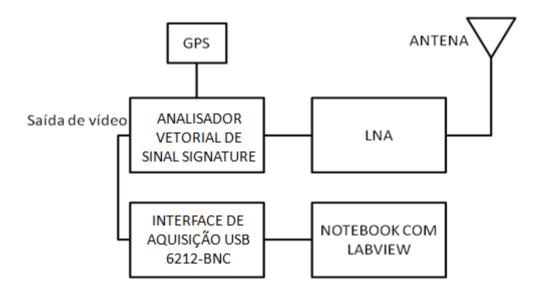


Figura 4.8: Diagrama de blocos do setup de recepção

## 4.2.3 Procedimento de medição e aquisição de dados

Os parâmetros do *setup* de transmissão foram os seguintes:

- Frequência de Portadora: 5,765 GHz;
- Modulação: onda contínua (CW) sem modulação;
- Potência de saída do gerador: +3 dBm (a máxima possível);
- Ganho do Amplificador: 28 dB;
- Ganho da Antena Tx Setorial 90°: 17 dBi;
- Perda de acoplamento e atenuação dos cabos: 15 dB.

#### Os parâmetros do setup de recepção são:

- Ganho da antena omnidirecional: 10 dBi;
- Configuração de varredura do analisador: RBW de 100 Hz e VBW de 10 KHz;
- Ganho do LNA: 33 dB:
- Perda de acoplamento e atenuação dos cabos: 15 dB.

A sistemática da medição ocorreu da seguinte forma: o sinal gerado pelo MG3700 é enviado para o amplificador e, então, para a antena. No lado do receptor móvel, o sinal é captado pela antena, passa pelo LNA e vai para o Analisador, que envia o sinal lido para a placa de captura por sua saída de vídeo. A placa de captura, por sua vez, está conectada a um *notebook* com o *software* LabVIEW. Este gerencia as informações obtidas pela placa de

aquisição, permitindo a visualização em tempo real dos dados obtidos, que são armazenados em arquivos \*.tdms possíveis de serem importados para planilhas.

Em paralelo, as coordenadas das rotas traçadas são obtidas pelo GPS conectado no analisador. O *software* GPS *Trackmaker* permite que os dados obtidos (latitude, longitude e altitude) sejam salvos em sincronismo com o horário configurado no analisador.

Ao final da campanha de medição, foram obtidos dados de nível de sinal e coordenadas geográficas sincronizados para posterior processamento.

## 5 PROCESSAMENTO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentada a metodologia utilizada para processamento dos dados obtidos na campanha de medição, com o objetivo de caracterizar o canal em faixa estreita, em seguida será apresentada a análise estatística destes dados.

# 5.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS

As amostras do sinal medido na recepção foram salvas, em Volts, em arquivos TDMS (*Technical Data Management Streaming*), que podem ser abertos em planilhas do Microsoft Excel. A taxa de amostragem aplicada foi de 20 Ksps.

Devido à limitação de 1.048.000 linhas do Excel, o arquivo TDMS de uma rota tem que ser dividido em planilhas com um milhão de amostras cada. Estas planilhas são convertidas em vetores do Matlab para processamento.

Em paralelo à aquisição dos sinais, também são coletados os dados de posicionamento da rota (latitude, longitude, altitude e horário) pelo GPS. Estes dados também são convertidos em vetores do Matlab.

Foram utilizados códigos do Matlab para converter as coordenadas de latitude e longitude das rotas em distância e, também, para setorizá-las, de forma a analisar a estatística de pequena escala por setor e, depois, a estatística de larga escala, tomando as médias de cada setor.

Após este processamento, é possível executar os programas para obtenção do desvanecimento em grande e pequena escala, a perda no percurso, a taxa de cruzamento de nível e a duração média dos desvanecimentos.

# 5.2 SETORIZAÇÃO E ROTAS TRAÇADAS

A setorização consiste em delimitar as amostras de sinal obtidas em um determinado intervalo, denominado janela, onde o desvanecimento em larga escala é praticamente constante. Neste trabalho, foram consideradas janelas de 40  $\lambda$ , geralmente consideradas de 5  $\lambda$  a 40  $\lambda$  [17]. Desta forma, cada setor é composto pelas amostras de sinal obtidas ao se percorrer a distância equivalente a 40  $\lambda$ . Em cada setor, foi obtido o valor médio do nível das amostras e aplicado o filtro, para eliminar aqueles com valor inferior a -78 dB. A filtragem visa estabelecer uma margem de segurança em relação ao nível de ruído presente nas medições e garantir uma análise fidedigna.

Todas as rotas realizadas foram setorizadas. A tabela 5.1 lista a quantidade de setores em cada uma.

Tabela 5.1: Ro	tas e quant	idade de setores
----------------	-------------	------------------

Numero da Rota	Quantidade Total de			
	Setores por Rota			
1	418			
2	2347			
3	295			
4	1398			
5	1674			
6	935			
7	1569			

A figura 5.1 ilustra todos os setores das rotas realizadas. A cor de cada setor é relacionada com o seu nível de sinal médio, conforme a legenda representada pela figura 5.2.

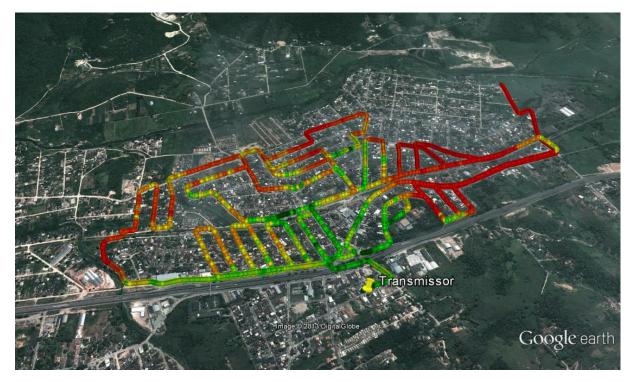


Figura 5.1: Setores das rotas realizadas

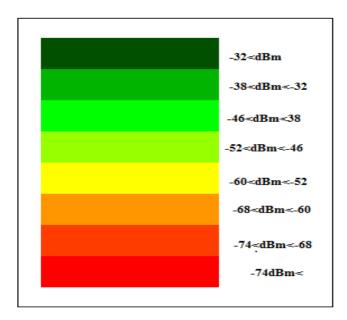


Figura 5.2: Correspondência das cores aplicadas para identificar o nível médio de sinal dos setores

# 5.3 ANÁLISE DO DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA

A análise do desvanecimento em pequena escala é realizada em cada um dos setores, obtidos pelo processo de setorização. A divisão em janelas de  $40 \lambda$ , onde o desvanecimento em larga escala é praticamente constante no setor, permite a análise da variabilidade do sinal, em pequena escala, através da f.d.p. empírica obtida das amostras de nível de sinal deste setor.

Foram utilizadas as f.d.p.'s teóricas de Gauss, Rayleigh, Rice, Nakagami e α-μ neste trabalho. Para efetuar a análise do desvanecimento em pequena escala, os ajustes das f.d.p.'s teóricas à f.d.p. medida são comparados, pelo teste do Qui-quadrado [9], verificando a que possui o melhor ajuste no setor avaliado.

O código utilizado para análise do desvanecimento em pequena escala, permite a obtenção dos seguintes dados:

- Número de setores por rota;
- Número de vezes em que as f.d.p. 's passaram no teste do Qui-quadrado;
- Parâmetro m da distribuição de Nakagami;
- Parâmetro K da distribuição de Rice;
- Parâmetro α da distribuição α-μ;
- Valores dos testes de Qui-quadrado para cada setor;

As análises foram organizadas por rota e realizadas pela avaliação dos seguintes parâmetros:

- Quantidade de vezes em que cada distribuição apresentou o menor valor de Qui, ou seja, obteve o melhor ajuste ou o menor erro;
- Quantidade de vezes em que cada distribuição apresentou o menor valor de Qui, sendo este valor limitado a 2, para eliminar as distribuições que não apresentaram um bom ajuste;
- Menor valor de Qui para cada distribuição.

Desta forma, deseja-se fornecer uma análise global do desvanecimento em pequena escala, apresentada pela tabela 5.2.

Tabela 5.2: Análise do desvanecimento em pequena escala

		Gauss	Rayleigh	Rice	Nakagami	α-μ
Rota 1	Nº de setores com menor erro	64	14	64	25	251
	Nº de setores com Qui < 2	43	6	22	8	91
	Menor Qui	0,75	1,02	0,85	0,98	0,29
Rota 2	Nº de setores com menor erro	183	23	121	66	1971
	Nº de setores com Qui < 2	78	9	40	20	162
	Menor Qui	0,59	0,8	0,69	0,82	0,69
Rota 3	Nº de setores com menor erro	36	7	44	16	197
	Nº de setores com Qui < 2	10	4	7	1	47
	Menor Qui	0,92	1,51	0,94	1,4	0,38
Rota 4	Nº de setores com menor erro	52	3	55	32	1254
	Nº de setores com Qui < 2	38	4	40	6	576
	Menor Qui	0,42	0,79	0,49	0,64	0,37
Rota 5	Nº de setores com menor erro	127	8	43	31	1466
	Nº de setores com Qui < 2	50	2	11	5	72
	Menor Qui	0,76	0,88	0,67	0,9	0,29
Rota 6	Nº de setores com menor erro	52	3	55	32	1254
	Nº de setores com Qui < 2	34	3	6	0	16
	Menor Qui	0,42	0,79	0,49	0,64	0,37
Rota 7	Nº de setores com menor erro	61	15	64	41	348
	Nº de setores com Qui < 2	23	14	15	11	65
	Menor Qui	0,81	1,03	0,95	0,94	0,92

#### 5.3.1 Análise da rota 1

O traçado da rota 1 é apresentado pela figura 5.3, onde também são identificados os níveis médios de sinal nos setores, através da coloração mostrada na figura 5.3. Observa-se sinal forte nessa rota e houve o predomínio da distribuição α-μ, que apresentou maior quantidade de setores com melhor ajuste. Em segundo lugar, aparecem as distribuições da Rice e Gauss, que se justifica por esta rota apresentar diversos pontos em visada com a antena transmissora e bem próximos da mesma. A distribuição α-μ também apresentou o menor valor de Qui-quadrado. As figuras 5.4 e 5.5 mostram a distribuição com melhor ajuste para alguns setores da rota, identificados no ambiente.

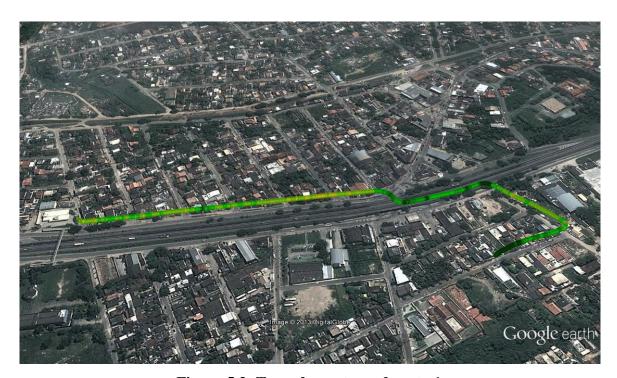


Figura 5.3: Traçado e setores da rota 1

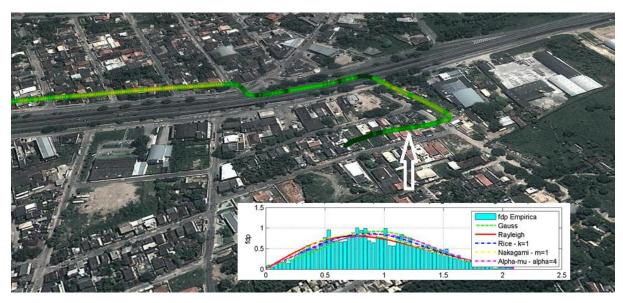


Figura 5.4: Localização do setor 33, onde obteve-se o melhor ajuste para Rice

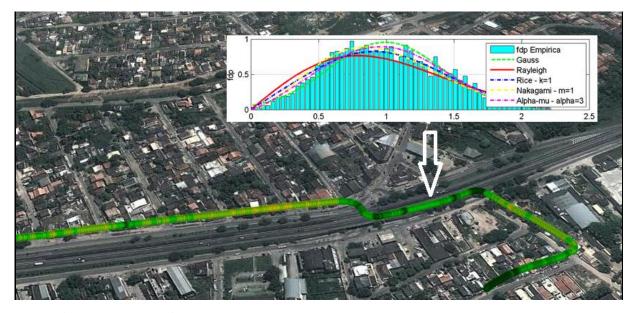


Figura 5.5: Localização do setor 155, onde obteve-se o melhor ajuste para α-μ

#### 5.3.2 Análise da rota 2

O traçado e os setores da rota 2 são apresentados na figura 5.6. A distribuição α-μ apresentou o melhor ajuste para a maioria dos setores desta rota e a distribuição gaussiana apresentou o menor valor de Qui-quadrado. Nesta rota, observa-se nível de sinal variado e grande contribuição do raio direto em alguns setores, por apresentar visada com o transmissor. As figuras 5.7 a 5.9 mostram as distribuições para alguns dos setores.



Figura 5.6: Traçado e setores da rota 2

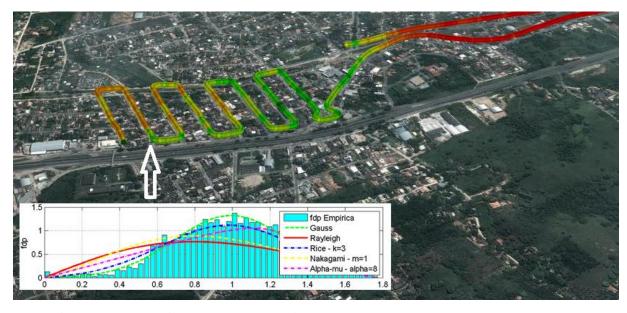


Figura 5.7: Localização do setor 274, onde obteve-se o melhor ajuste para  $\alpha\text{-}\mu$ 

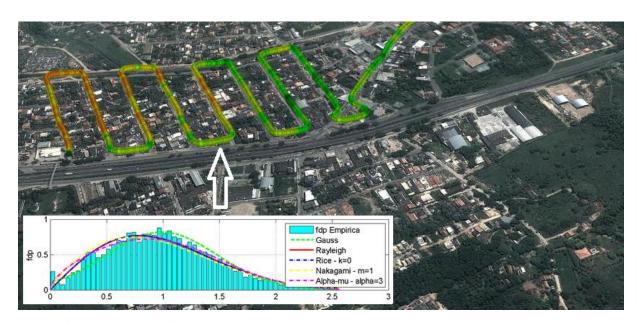


Figura 5.8: Localização do setor 600, onde obteve-se o melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

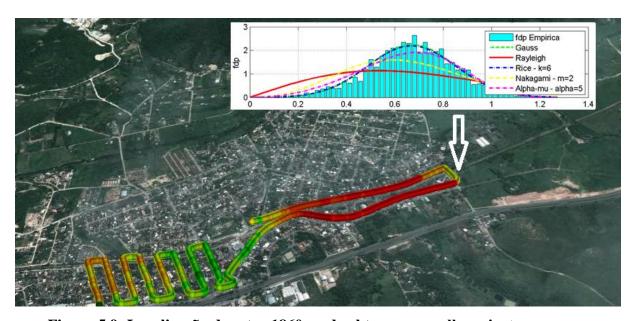


Figura 5.9: Localização do setor 1860, onde obteve-se o melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

#### 5.3.3 Análise da rota 3

O traçado e os setores da rota 3 são apresentados na figura 5.10. Esta rota apresentou nível de sinal forte e visada com o transmissor. Houve predominância da distribuição  $\alpha$ - $\mu$ , que apresentou o menor valor de Qui-quadrado e o maior número de setores com menor erro. A figura 5.11 mostra a distribuição para o setor 116, melhor ajustado para  $\alpha$ - $\mu$ .

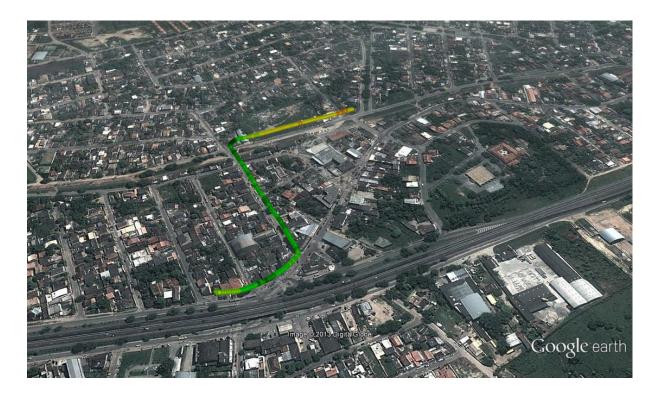


Figura 5.10: Traçado e setores da rota 3

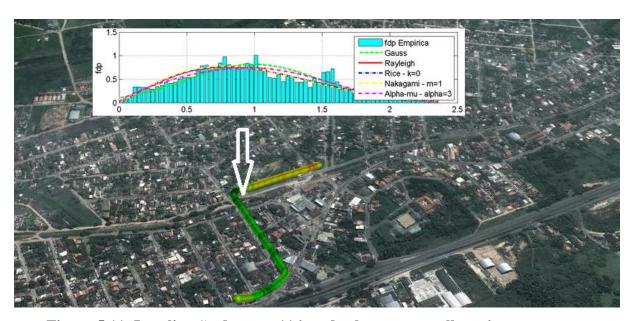


Figura 5.11: Localização do setor 116, onde obteve-se o melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

## 5.3.4 Análise da rota 4

O traçado e os setores da rota 4 são apresentados na figura 5.12. Esta rota apresentou nível de sinal variado e houve predomínio da distribuição α-μ, com o maior número de setores

com menor erro e o menor valor de Qui. As figuras 5.13 a 5.15 mostram a distribuição com melhor ajuste para alguns setores.



Figura 5.12: Traçado e setores da rota 4

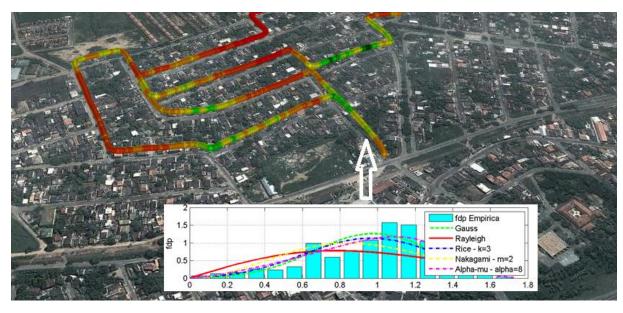


Figura 5.13: Localização do setor 22, onde obteve-se o melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

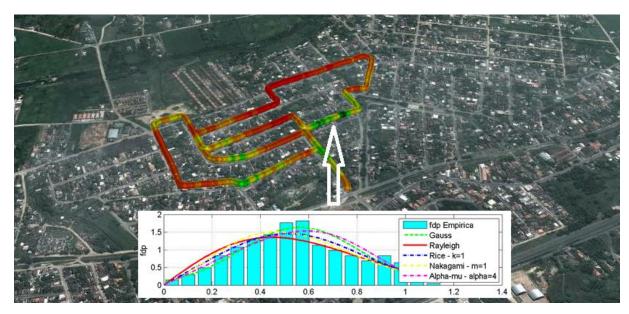


Figura 5.14: Setor 667 da rota 4, melhor ajuste para α-μ

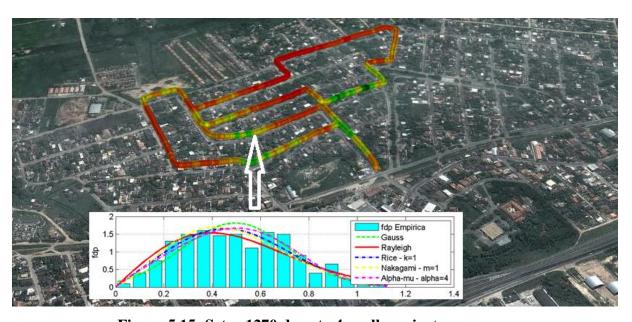


Figura 5.15: Setor 1270 da rota 4, melhor ajuste para α-μ

## 5.3.5 Análise da rota 5

O traçado e os setores da rota 5 são apresentados pela figura 5.16. Nesta rota houve predominância da distribuição  $\alpha$ - $\mu$ , em 72 setores, mas a distribuição Gaussiana também apresentou um bom ajuste, com um quantitativo de 50 setores com o melhor ajuste. A distribuição  $\alpha$ - $\mu$  apresentou o menor valor de Qui e verificou-se nível de sinal variado nesta rota. As figuras 5.17 a 5.19 mostram alguns setores analisados.



Figura 5.16: Traçado e setores da rota 5

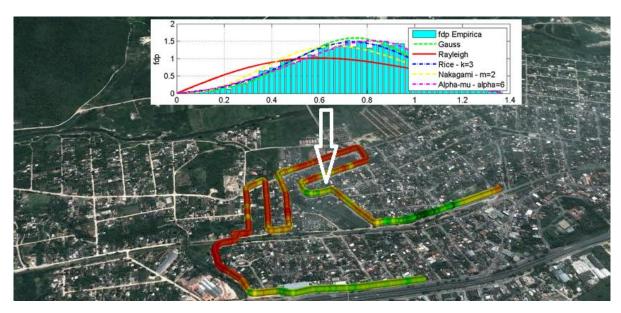


Figura 5.17: Setor 361 da rota 5, melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

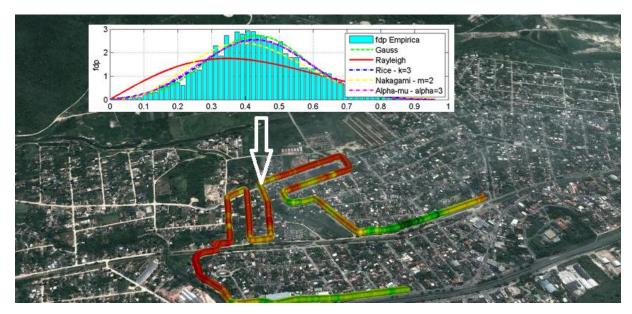


Figura 5.18: Setor 770 da rota 5, melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

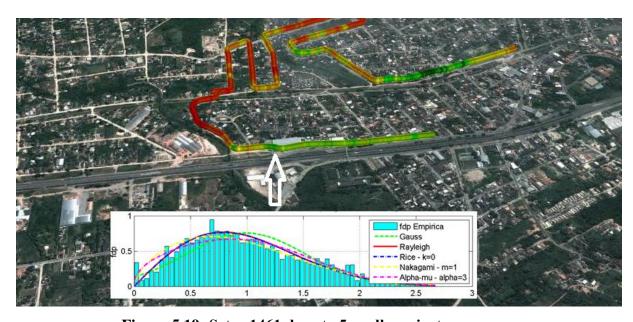


Figura 5.19: Setor 1461 da rota 5, melhor ajuste para α-μ

## 5.3.6 Análise da rota 6

O traçado e os setores da rota 6 são apresentados pela figura 5.20. O número de setores com o melhor ajuste para a distribuição  $\alpha$ - $\mu$  foi superior, que também apresentou o menor valor de Qui, mas limitando o valor do Qui-quadrado a dois, a Gaussiana obteve melhor desempenho. Esta rota apresentou nível de sinal variado e a figura 5.21 ilustra o ajuste das distribuições em um setor.

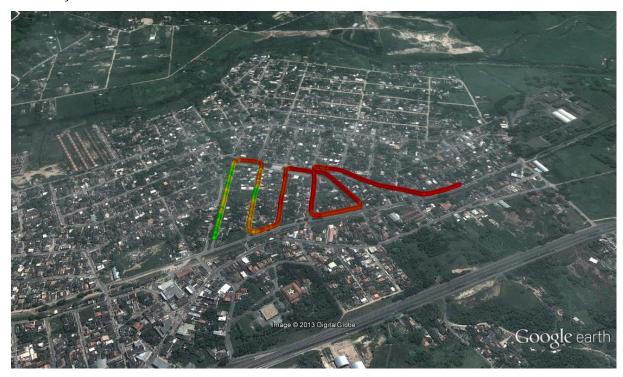


Figura 5.20: Traçado e setores da rota 6

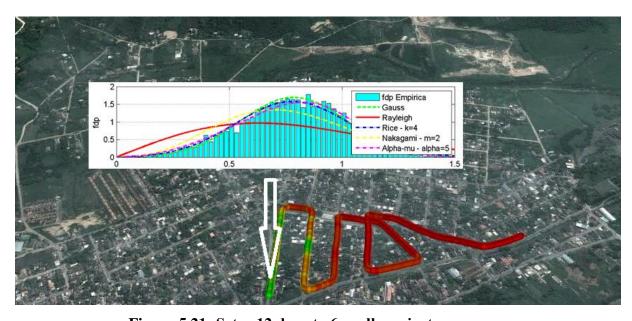


Figura 5.21: Setor 12 da rota 6, melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

#### 5.3.7 Análise da rota 7

O traçado e os setores da rota 7 são apresentados pela figura 5.22. Nesta rota, a distribuição α-μ obteve melhor ajuste para a maioria dos setores, apresentando um número maior de setores com menor erro, mas a distribuição Gaussiana obteve o menor valor de Qui. Observa-se, nesta rota, nível de sinal forte e visada entre transmissor e receptor, o que leva a uma forte contribuição do raio direto nas distribuições, o que justifica o menor Qui obtido pela distribuição Gaussiana. As figuras 5.23 a 5.25 mostram alguns setores analisados.



Figura 5.22: Traçado e setores da rota 7

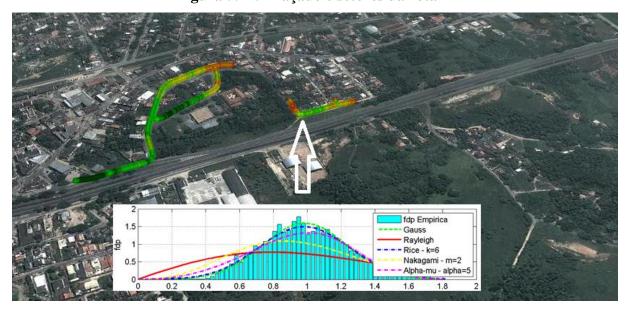


Figura 5.23: Setor 796 da rota 7, melhor ajuste para α-μ

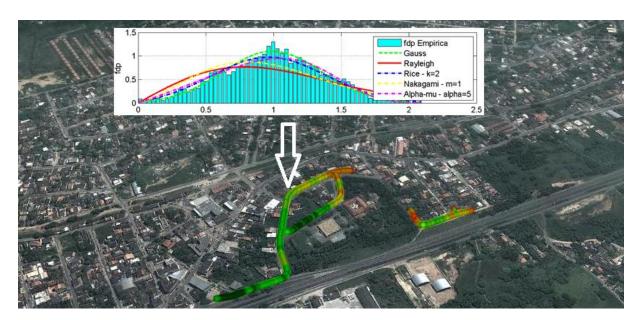


Figura 5.24: Setor 1236 da rota 7, melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

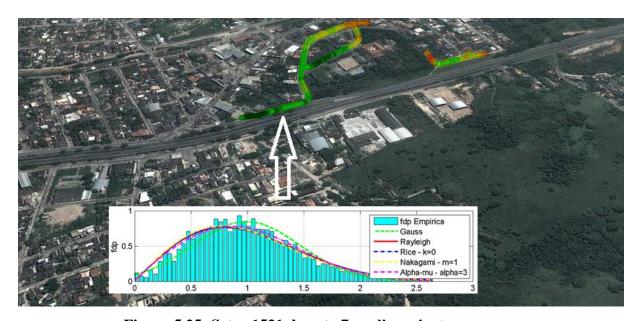


Figura 5.25: Setor 1531 da rota 7, melhor ajuste para  $\alpha$ - $\mu$ 

## 5.4 ANÁLISE DO DESVANECIMENTO EM GRANDE ESCALA

O desvanecimento em grande escala é obtido pela diferença entre a média do setor e a perda do sinal com a distância. A média do setor foi obtida, previamente, pelo processamento dos dados, quando foram definidas as médias das amostras separadas em janelas de  $40 \, \lambda$ .

A fórmula 5.1 representa a perda do sinal com a distância, obtida ao traçar uma reta ajustada a erros médios pelo método dos mínimos quadrados, sobre o gráfico de potência média dos setores versus distância radial, esta em escala logarítmica.

$$P(d)_{dB} = P_0 - 10n \log d (5.1)$$

onde:

 $P_0$  é a potência recebida na distância de referência  $d_0 = 1$ .

d é a distância da antena transmissora.

n é o expoente de perdas no percurso.

As próximas figuras ilustram, para cada rota, o comprortamento do desvanecimento em grande escala, a reta de ajuste para a perda de percurso e o juste da distribiuição Lognormal.

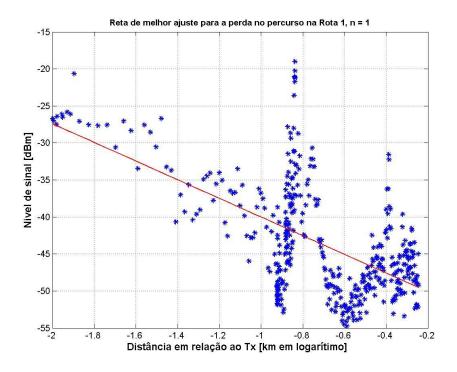


Figura 5.26: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 1

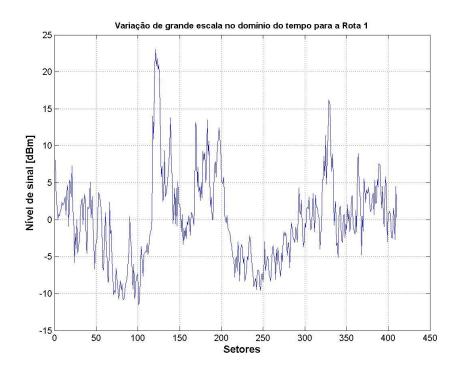


Figura 5.27: Desvanecimento em grande escala para a rota 1

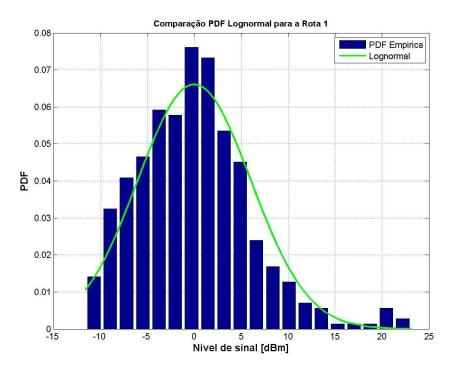


Figura 5.28: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 1

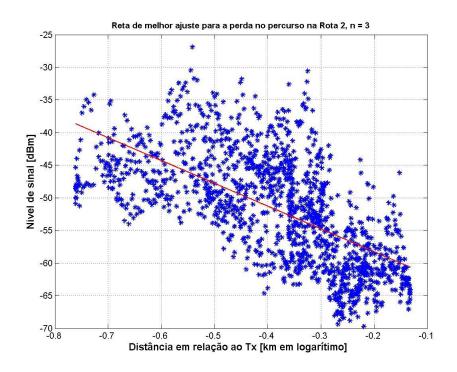


Figura 5.29: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 2

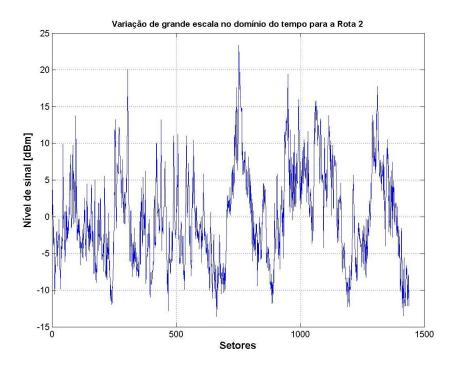


Figura 5.30: Desvanecimento em grande escala para a rota 2

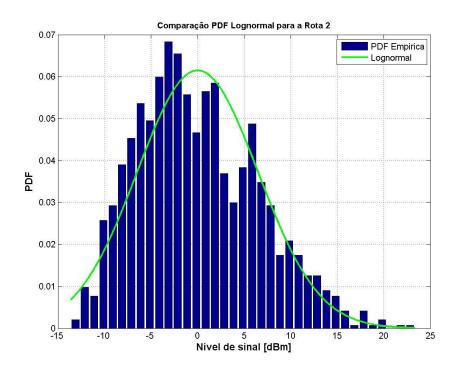


Figura 5.31: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 2

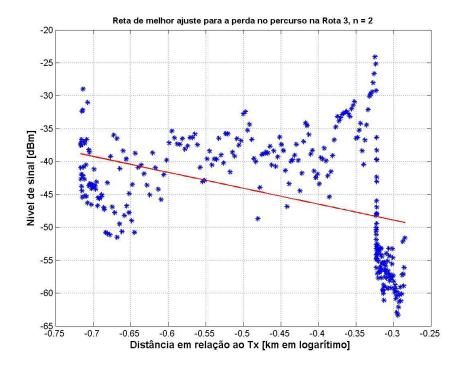


Figura 5.32: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 3

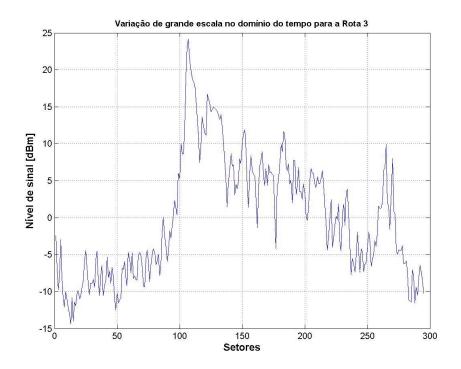


Figura 5.33: Desvanecimento em grande escala para a rota 3

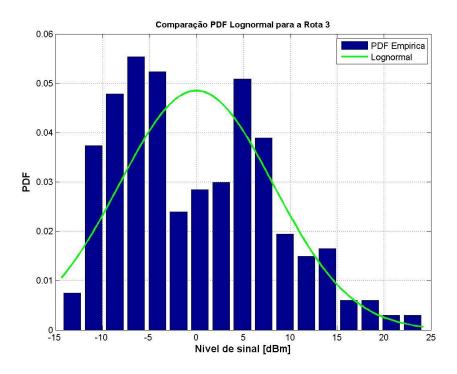


Figura 5.34: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 3

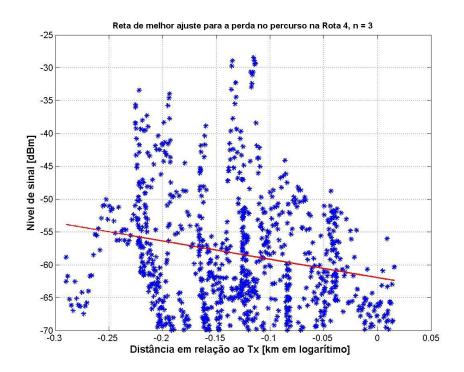


Figura 5.35: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 4

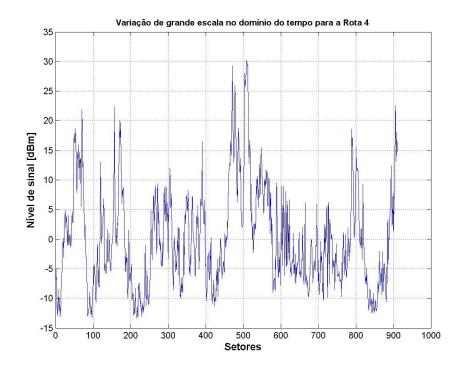


Figura 5.36: Desvanecimento em grande escala para a rota 4

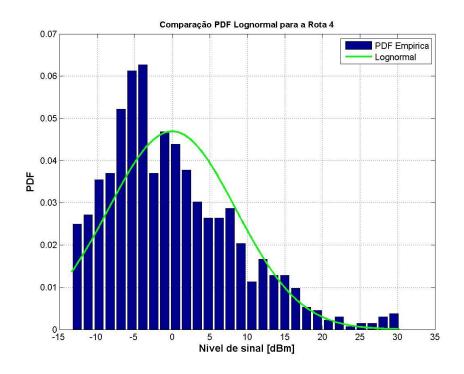


Figura 5.37: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 4

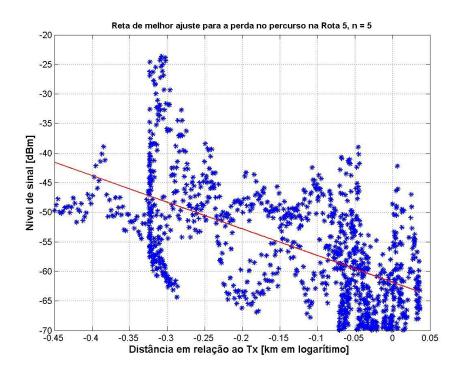


Figura 5.38: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 5

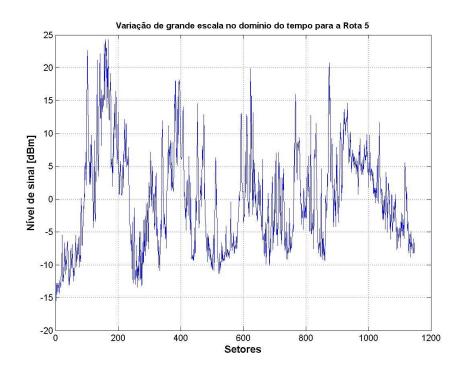


Figura 5.39: Desvanecimento em grande escala para a rota 5

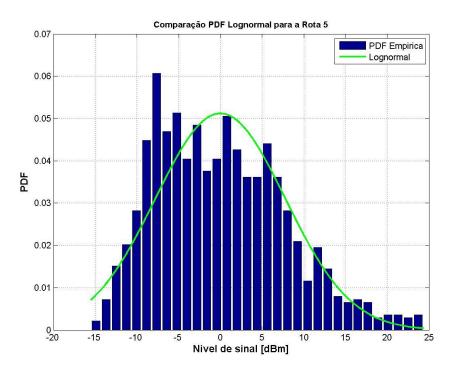


Figura 5.40: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 5

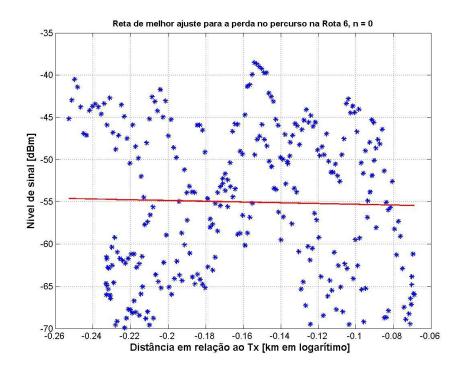


Figura 5.41: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 6

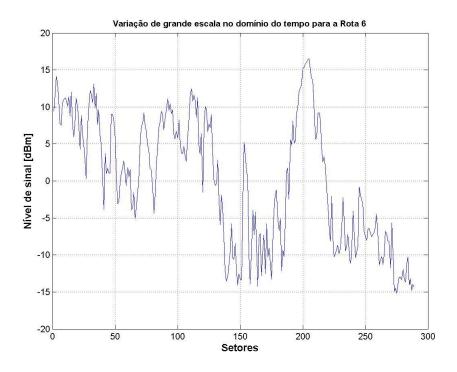


Figura 5.42: Desvanecimento em grande escala para a rota 6

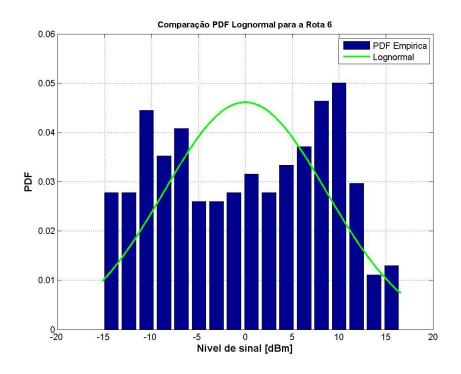


Figura 5.43: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 6

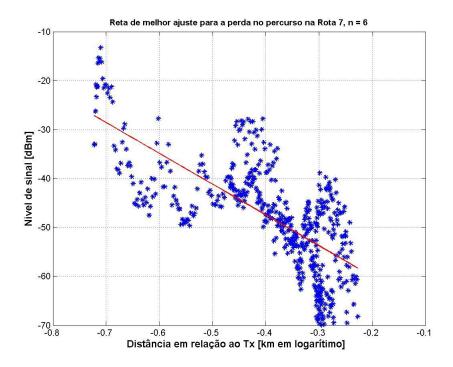


Figura 5.44: Reta de ajuste para a perda no percurso da rota 7

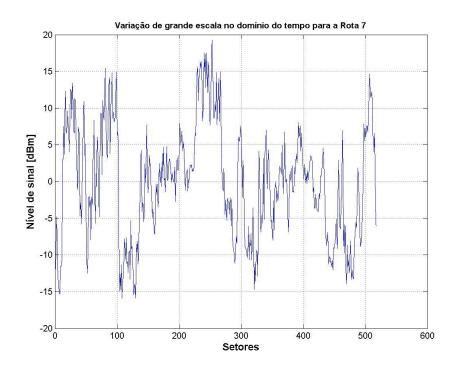


Figura 5.45: Desvanecimento em grande escala para a rota 7

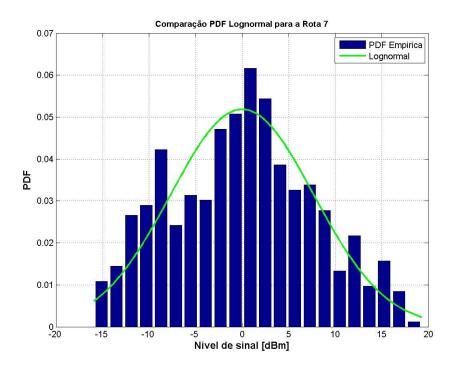


Figura 5.46: Ajuste da distribuição lognormal para o desvanecimento em grande escala na rota 7

# 5.5 TAXA DE CRUZAMENTO DE NÍVEL E DURAÇÃO MÉDIA DE DESVANECIMENTOS

Foram gerados, para cada setor, dados estatísticos da taxa de cruzamento de nível e da duração média de desvanecimento. Estes dados foram comparados com as funções teóricas das distribuições de Rayleigh, Rice e Nakagami, conforme os gráficos a seguir.

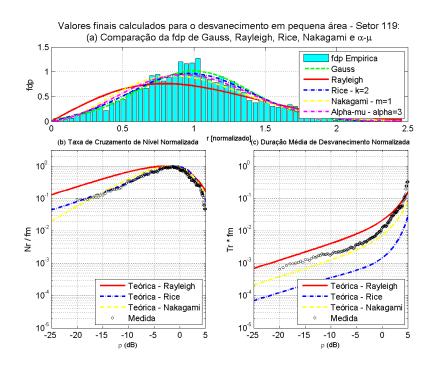


Figura 5.47: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 1

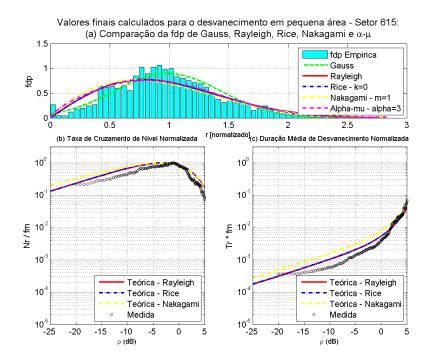


Figura 5.48: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 2

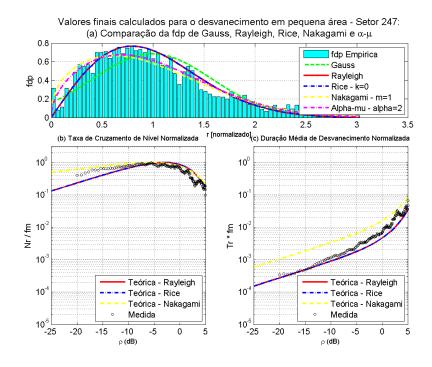


Figura 5.49: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 3

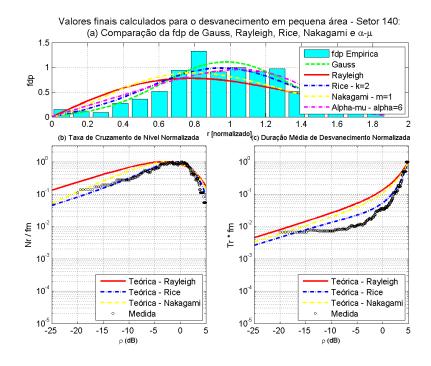


Figura 5.50: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 4

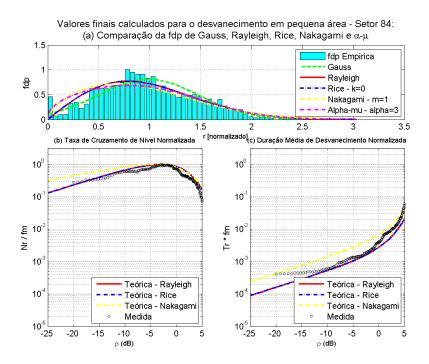


Figura 5.51: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 5

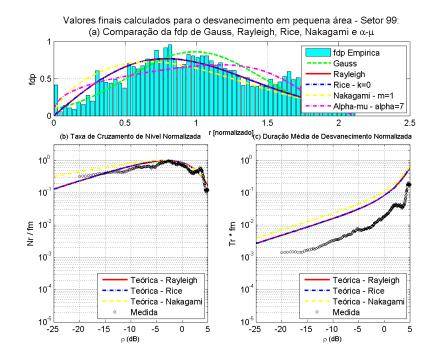


Figura 5.52: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 6

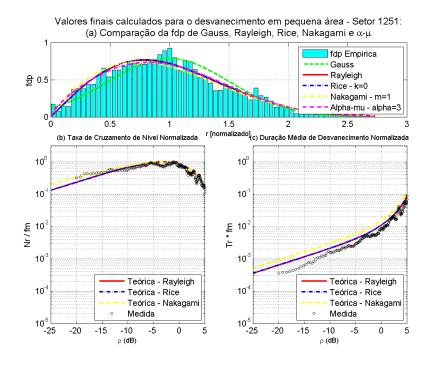


Figura 5.53: Taxa de cruzamento de nível e duração média de desvanecimento para a rota 7

Os parâmetros LCR e a AFD se mostraram variando numa larga faixa, em torno do valor eficaz da envoltória, indicando a grande variabilidade da amplitude do sinal medido na região. Observa-se boa concordância da LCR e AFD experimental com as ajustadas para Rayleigh e Rice, o que significa que  $K_{Rice}$  é aproximadamente zero nestes casos.

Não foi calculado o ajuste para a distribuição  $\alpha$ - $\mu$  devido à dificuldade de resolver a equação transcendental, que permite calcular os valores de  $\alpha$  e  $\mu$  mais ajustados às curvas. Uma vez que a f.d.p. de  $\alpha$ - $\mu$  foi a melhor ajustada, mesmo com os parâmetros aproximados, espera-se que esta f.d.p. realmente seja a de melhor resultado.

# 5.6 PERDA NO PERCURSO E COMPARAÇÃO COM MODELOS DE COBERTURA

Os modelos de cobertura utilizados para comparação com as medidas realizadas foram Cost231-Hata, SUI, e o proposto pela UFPA para a faixa de 5.8 GHz. A aderência dos dados medidos aos modelos propostos pode ser observada nas figuras 5.54 a 5.60 e na tabela 5.3. Observa-se nas figuras, que o modelo de espaço livre foi traçado apenas para comparação da perda real com a ideal.

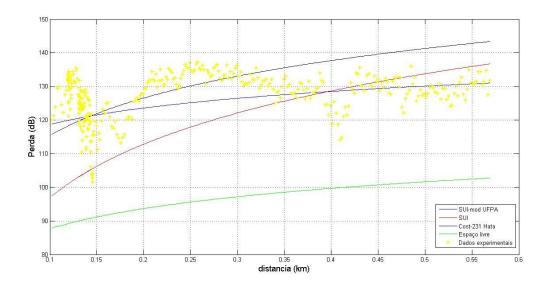


Figura 5.54: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 1

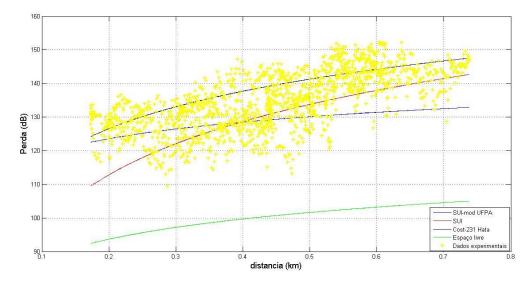


Figura 5.55: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota  $\mathbf 2$ 

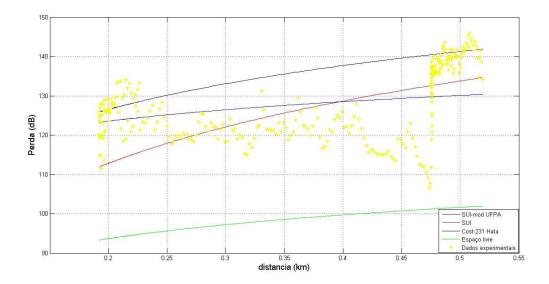


Figura 5.56: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 3

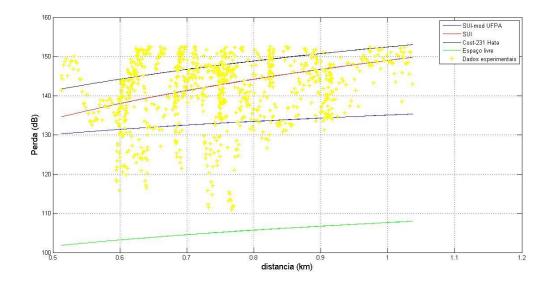


Figura 5.57: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 4

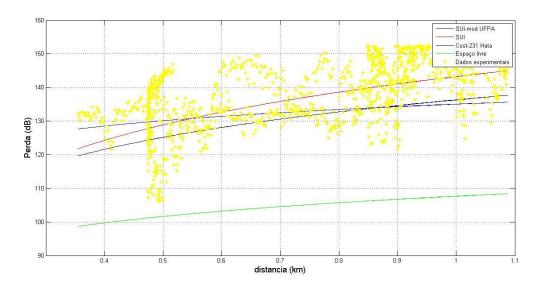


Figura 5.58: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 5

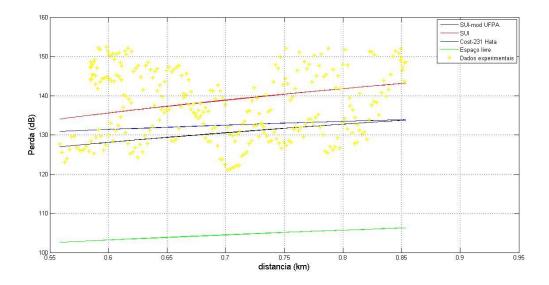


Figura 5.59: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 6

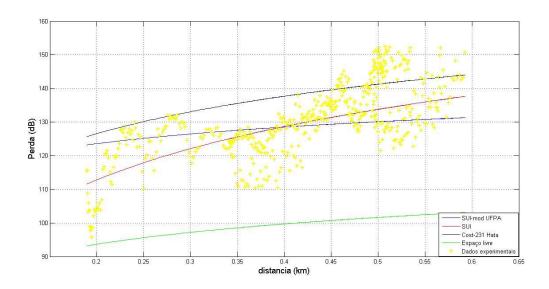


Figura 5.60: Comparação com os modelos de perda no percurso para a rota 7

O modelo SUI apresenta as seguintes categorias: (A) Terreno montanhoso com densidade de árvores moderada a alta, (B) Terreno montanhoso com densidade de árvores leve ou plano com densidade de árvores moderada a alta e (C) Terreno plano com densidade de árvores leve. Já o modelo COST231-Hata, tem como categorias áreas urbanas e subusrbanas.

Na análise de cobertura, o modelo de cobertura da UFPA e o SUI foram os que apresentaram o menor erro médio e o menor erro RMS nas rotas, com predomínio para o SUI. O modelo da UFPA (SUI modificado) ficou mais ajustado onde o sinal era mais homogêneo e forte e com pouca vegetação entre transmissor e receptor, caso das rotas 1 e 3. Já o SUI tipo A se ajustou melhor às rotas com maior densidade de vegetação entre transmissor e receptor como nas rotas 4 e 7, enquanto o SUI C predominou nas rotas com sinal mais variado e com menos vegetação.

Tabela 5.3: Tabela de resumo dos resultados para perda no percurso

ROTA	MODELO	CATEGORIA	ERRO MÉDIO	SIGMA	ERRO RMS
1	UFPA	Não aplicável	2,587943299	6,504127253	7,000080131
	SUI	A	10,71724129	11,83608042	15,96721831
	COST231-Hata	Urbano	-1,88489545	8,957148314	9,15332381
2	UFPA	Não aplicável	5,783600978	7,178542883	9,218542086
	SUI	A	4,926482435	7,029301484	8,583781716
	COST231-Hata	Urbano	-3,794058013	6,544877455	7,56507086
3	UFPA	Não aplicável	0,002068217	8,314716869	8,314717126
	SUI	A	2,149038959	9,342324511	9,586312937
	COST231-Hata	Urbano	-7,869088997	8,465187356	11,55776616
4	UFPA	Não aplicável	7,890312317	8,540582412	11,62749227
	SUI	A	0,381731491	8,6337793	8,642214064
	COST231-Hata	Suburbano	-6,786720923	8,528546447	10,89934335
5	UFPA	Não aplicável	5,178073874	8,626648024	10,06138684
	SUI	С	-1,236563171	7,815819871	7,913035367
	COST231-Hata	Suburbano	6,843459515	7,862227775	10,42341421
6	UFPA	Não aplicável	5,047154363	8,650165671	10,0149455
	SUI	C	1,403107746	8,919533593	9,02921873
	COST231-Hata	Suburbano	7,070665082	8,795046436	11,28481929
7	UFPA	Não aplicável	1,640556882	9,656216205	9,794587193
	SUI	A	1,395182827	7,803020953	7,926769273
	COST231-Hata	Urbano	-7,589594776	8,354278274	11,28697986

## 6 CONCLUSÃO

Para efetuar caracterização do canal em faixa estreita para a região central da cidade de Tanguá na faixa de 5,8 GHz, foram gerados dados estatísticos do desvanecimento em grande e pequena escala, da taxa de cruzamento de nível, duração média de desvanecimentos e perda no percurso. Além disso, busca-se o modelo mais ajustado para a predição de cobertura nesta faixa de frequência, em ambiente suburbano.

No desvanecimento em larga escala, observou-se um bom ajuste à distribuição teórica lognormal, que comumente é a mais ajustada para este fim. Quanto ao desvanecimento em pequena escala, a distribuição α-μ demonstrou uma grande flexibilidade ao predominar em quase todas as rotas. Limitando a análise para um valor máximo de Qui igual 2, para restringir os setores que não tiveram um bom ajuste, a distribuição gaussiana foi melhor na rota 6 e a α-μ nas demais. A distribuição α-μ tem uma grande capacidade de aderência às f.d.p. sexperimentais, o que exige uma avaliação criteriosa dos ajustes realizados para que se eliminem os setores não relevantes.

Os parâmetros LCR e a AFD mostraram-se variar um uma larga faixa indicando a grande variabilidade da amplitude do sinal medido na região.

Na análise da perda no percurso, o modelo de cobertura da UFPA e o SUI foram os que apresentaram o menor erro médio e o menor erro RMS nas rotas. O modelo de SUI obteve um melhor desempenho para a faixa de 5,8 GHz, visto que permite testar 3 tipos de ambientes em função da presença de vegetação e do relevo, fatores estes que influenciam fortemente sinais de frequências desta magnitude.

O modelo da UFPA, que é o modelo SUI adaptado para uma região semelhante à cidade de Tanguá, ou seja, suburbano e com leve vegetação, apresentou um bom resultado para predição de cobertura nessa faixa de frequência e tipo de região.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante a realização de mais medições na faixa de 5,8 GHz em regiões urbanas mistas (construções + vegetação) e rurais, para estudar o modelo de melhor ajuste para tais áreas ou até mesmo a criação de um novo modelo em área mista. Estas medições também permitiriam delimitar a aplicação das categorias do modelo SUI.

# REFERÊNCIAS

- [1] **Abdi, Ali, et al.** "Comparison of the Level Crossing Rate and Average Fade Duration of Rayleigh, Rice, and Nakagami Fading Models with Mobile Channel Data. Vehicular Technology Conference" IEEE. 24 28 de Setembro de 2000, pp. 1850 1857 vol.4.
- [2] Castro, Bruno Souza Lyra. "Modelo de propagação para redes sem fio fixas na banda de 5, 8 GHZ em cidades típicas da região amazônica." (2010).
- [3] J. D. Parsons. 'The Mobile Radio Propagation Channel'. New York, NY: Wiley, 1992.
- [4] Lee, B.G. "Broadband Wireless Access and Local Networks: Mobile WiMax and WiFi". Artech House, 2008
- [5] Lee, W. C. Y., "Mobile Cellular Telecommunications". McGraw-Hill International Editions, 1995.
- [6] Muammar, R., and S. Gupta. "Cochannel interference in high-capacity mobile radio systems." Communications, IEEE Transactions on 30.8 (1982): 1973-1978.
- [7] Nakagami, Mikio. "The m-Distribution A General Formula of Intensity Distribution of Rapid Fading. Elmsford": Pergamon Press, 1960.
- [8] P. E. Mogensen, P. Eggers, C. Jensen, and J. B. Andersen. "Urban area radio propagation measurements at 955 and 1845 MHz for small and micro cells," in IEEE Global Commun. Conf., Phoenix, AZ, pp. 1297–1302, December 1991.
- [9] Parsons, John David. "The mobile Radio Propagation Channel 2nd edition". West Sussex: John Wiley & Sons LTD, 2000.
- [10] Rappaport, Theodore S. "Wireless Communications Principles & Practice". New Jersey: Prentic Hall PTR, 2000.

- [11] Salous, S., et al. "Measurements of radio channels and bit error rate estimation of IEEE802. 16 standard in semi-rural environment at three frequencies in the 2–6 GHz frequency band." IET communications 2.7 (2008): 878-885.
- [12] Stueber, Gordon L. "Principles of Mobile Communication". Norwell: Kluwer, 2001.
- [13] V. Erceg et al., "Channel Models for Fixed Wireless Applications (IEEE802.16.3c-01/29r4)," Broadband Wireless Working Group, IEEE P802.16, 2001.
- [14] V. Erceg et. Al., "An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments," IEEE JSAC, vol. 17, no. 7, July 1999, pp. 1205-1211.
- [15] Y. Okumura, E. Ohmuri, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHP and UHF land mobile radio service," Rev. of the ECL, Vol. 16, pp. 825–873, 1968.
- [16] Yacoub, Michel Daoud. "The  $\alpha$ - $\mu$  distribution: A physical fading model for the Stacy distribution." Vehicular Technology, IEEE Transactions on 56.1 (2007): 27-34.
- [17] **Urie, A.** "Errors in estimating local average power of multipath signals", Electronics Letters. February 14<sup>th</sup>, 1991, pp. 315 317.

# **APÊNDICE**

#### A.1 PROGRAMAS DO MATLAB

### Separação dos setores

```
%%SETORIZAÇÃO
%%Dados de Entrada%%
tempo = Tempovetortotal; %vetor que contém os instantes de tempo de cada amostra
potencia = Potenciavetortotal; %vetor que contém as potências
f = 5765; %frequencia em MHz
x = 40; %setor de x lambdas
limiar = -78; %limiar de decisão do filtro em dBm
lat t gd = -22.73619; %latitude do transmissor em graus decimais
lon t gd = -42.71886; %longitude do transmissor em graus decimais
alt t = 52; %altitude do transmissor em metros
\overline{periodo} = 0.00005;
r = 6371000; %raio da Terra
%%DIVISÃO EM SETORES UTILIZANDO OS DADOS DO GPS%%
%Objetivo: estimar o instante de tempo em que ocorre o início de cada setor
%utilizando uma regra de três dos dados de distância da rota
%%Processamento%%
lim = length(Distancia m);
tamanho setor = x*300/\bar{f}; %comprimento do setor
tempo setor(1) = Hora s(1); %instante do setor 1
latitude_setor(1) = Latitude gd(1); %latitude do setor 1
longitude setor(1) = Longitude gd(1); %longitude do setor 1
altitude setor(1) = Altitude m(1); %altitude do setor 1
pos = 2; %para selecionar os vetores de entrada
num setor = 1; %para selecionar o numero do setor
setor = tamanho setor; %comprimento de cada setor (inicialmente igual a posição do segundo
setor)
while setor < Distancia_m(lim)</pre>
    if setor < Distancia m(pos)
        num setor = num setor + 1;
        tempo_setor(num_setor) = (setor - Distancia m(pos-1))*(Hora s(pos) - Hora s(pos-
1))/(Distancia_m(pos) - Distancia_m(pos-1)) + Hora_s(pos-1);
latitude_setor(num_setor) = (setor - Distancia_m(pos-1))*(Latitude_gd(pos) -
Latitude_gd(pos-1))/(Distancia_m(pos) - Distancia_m(pos-1)) + Latitude_gd(pos-1);
        longitude setor(num setor) = (setor - Distancia m(pos-1))*(Longitude gd(pos) -
Longitude_gd(pos-1))/(Distancia_m(pos) - Distancia_m(pos-1)) + Longitude_gd(pos-1);
altitude_setor(num_setor) = (setor - Distancia_m(pos-1))*(Altitude_m(pos) - Altitude_m(pos-1))/(Distancia_m(pos) - Distancia_m(pos-1)) + Altitude_m(pos-1);
       setor = setor + tamanho setor;
    else
       pos = pos + 1;
    end
setor = setor - tamanho setor; %posição do último setor
%%Dados de Saída%%
ts = tempo setor';
ts = roundn(ts, -3);
lats = latitude setor';
lons = longitude_setor';
as = altitude_setor';
%%DIVISÃO EM SETORES UTILIZANDO OS DADOS DO GPS E DO LABVIEW%%
%%Processamento%%
lim = length(tempo); %número total de amostras
```

```
total setor = length(ts); %número total de setores
ts1 = [0; ts];
ts2 = [ts; 0];
tsx = ts2 - ts1;
tsx(1) = 0;
tsx(total setor+1) = 0;
maior setor = max(tsx)/periodo;
lat1 = lat t gd*pi/180; %em radianos
lon1 = lon_t_gd*pi/180; %em radianos
num setor = 1; %variável que indica o número do setor
tempo setor = ts(2); %todos as amostras até ts(2) pertencem a ts(1), até ts(3) pertencem a
ts(2)...
vetor posicao = zeros(total_setor-1,2);
pot_setor = zeros(total_setor-1, maior_setor);
potencia media = zeros(total setor-1,1);
k = 0; %para percorrer as linhas
j = 1;
media = 0;
for i = 1:lim
    if tempo(i) > ts(1)
        k = k + 1:
        if tempo(i) < tempo_setor</pre>
            pot_setor(j,k) = potencia(i);
            media = media + potencia(i);
            potencia media(j) = media/k;
            if potencia media(j) >= limiar
                vetor posicao(j,1) = num setor;
                vetor_posicao(j,2) = k;
            else
               pot_setor(j,:) = 0;
                j = j - 1;
            end
            j = j + 1;
k = 0;
            media = 0;
            num setor = num setor + 1; %passa para o próximo setor
            i = i - 1:
            if num setor < total setor
                tempo_setor = ts(num_setor+1);
                break
            end
        end
    end
end
vetor_posicao = vetor_posicao(1:(j-1),:);
pot setor = pot setor(1:(j-1),:);
potencia_media = potencia_media(1:(j-1),1);
dim = size(vetor_posicao);
total_setor_p = dim(1); %número total de setores completos
pos GPS = zeros(total setor p,5);
pos setor = zeros(total setor p,3);
I = vetor_posicao(:,1); %setores acima do limiar
pos GPS(:,1) = I;
pos_GPS(:,2) = lats(I);
pos GPS(:,3) = lons(I);
pos GPS(:,4) = potencia media;
pos GPS(:,5) = as(I);
lat2 = pos GPS(:,2)*pi/180; %em radianos
lon2 = pos_GPS(:,3)*pi/180; %em radianos
dlat = lat2 - lat1;
dlon = lon2 - lon1;
k = 2*r*asin((sin(dlat/2)).^2+cos(lat1).*cos(lat2).*(sin(dlon/2)).^2).^(1/2); %distancia do
arco
o = k/r; %angulo teta
pos setor(:,1) = I;
pos setor(:,2) = ((r + alt t)^2 + (r + pos GPS(:,5)).^2 - 2*(r + alt t)*(r +
pos GPS(:,5)).*cos(o)).^(1/2);
```

```
pos setor(:,3) = potencia media;
faixa_larga(:,1) = pos_setor(:,1);
faixa_larga(:,2) = pos_GPS(:,2);
faixa larga(:,3) = pos GPS(:,3);
faixa_larga(:,4) = pos_setor(:,2);
faixa larga(:,5) = pos setor(:,3);
%Dados de Saída%%
pos_setor_ROTA1 = pos_setor;
pot setor ROTA1 = pot setor;
pos GPS ROTA1 = pos GPS;
vetor posicao ROTA1 = vetor posicao;
faixa_desvGdeEsc_saida = faixa desvGdeEsc;
xlswrite('pos_setor_ROTA2.xlsx',pos_setor_ROTA2)
xlswrite('pos GPS ROTA2.xlsx',pos GPS ROTA2)
xlswrite('vetor_ROTA2.xlsx',vetor_posicao_ROTA2)
xlswrite('faixa_desvGdeEsc_saida.xlsx',faixa_desvGdeEsc_saida)
xlswrite('potencia_media.xlsx',potencia_media)
save('pot_setor_ROTA1','pot_setor_ROTA1','-v7.3')
save('pos_setor_ROTA1','pos_setor_ROTA1')
save('pos GPS ROTA1','pos GPS ROTA1')
save('vetor_posicao_ROTA1','vetor_posicao_ROTA1')
save('DESV LENTO ROTA1','faixa desvGdeEsc')
save('potencia media', 'potencia media')
gescatter filtrado('Rota1 Filtrado.kml',pos GPS ROTA1(:,3),pos GPS ROTA1(:,2),pos GPS ROTA1(:,
4), pos GPS ROTA1(:,5), vetor_posicao(:,1))
```

## Programa para exportar para o Google Earth

```
function gescatter filtrado(filename, lon, lat, c, alt, ind, varargin)
%default values
clims=[-97.6728875452004 -32.8979910608927];
cmap=fliplr(jet);
t=[];
scale=0.5;
%parse inputs and do some error-checking
if nargin>0
    [m, n] = size (varargin);
    opts={'clims','time','scale','colormap'};
    for i=1:n;
        indi=strcmpi(varargin{i},opts);
        ind=find(indi==1);
        if isempty(ind)~=1
            switch ind
                case 1
                     clims=varargin{i+1};
                    if numel(clims)~=2
                        error('Clims should be a two-element array.')
                    end
                case 2
                    t=varargin{i+1};
                    if any(isnan(t))
                        error('Time vector should not contain NaNs.')
                    if ~isnumeric(t)
                         error('Time should be entered in ML Datenum format.')
                    end
                case 3
                    scale=varargin{i+1};
                case 4
                    cmap=varargin{i+1};
                     %check size of numeric colormap input
                    if isa(cmap, 'numeric')
                         [m,n]=size(cmap);
```

```
if n \sim = 3
                              error('Custom colormap must have 3 columns.')
                          end
                          cmap=fliplr(cmap);
                      else
                          %if standard colormap is supplied
                          if isa(cmap, 'function handle')
                              cmap= func2str(cmap);
                          end
                          cmap=fliplr(feval(cmap));
                      end
            end
        end
    end
end
[pathstr,namer] = fileparts(filename);
%get rid on nans
gind=(isfinite(lon) & isfinite(lat) & isfinite(c));
lon=lon(gind);
lat=lat(gind);
c=c(gind);
%figure out the rgb colors of each value
cvals=[-inf;linspace(clims(1),clims(2),...
    length(cmap(:,1))-2)';inf];
[n,bin]=histc(c,cvals);
colors=cmap(bin,:);
%convert to GE's hex format
rgb=cellfun(@(x)(dec2hex(floor(x.*255),2)),...
    num2cell(colors),'uni',0);
%write the GE file
header=['<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>',...
    '<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">',...
    '<Document><name>',namer,'</name>'];
footer='</Document></kml>';
h = waitbar(0,'Creating file, Please wait...');
set(h,'name','Creating Google Earth file')
fid = fopen(filename, 'wt');
fprintf(fid, '%s \n',header);
 for i=1:length(lon)
        if c(i) <= -74
          rgb2{i}='0000FF';
         end
        if c(i) > = -74 \&\&c(i) < -68
         rgb2{i}='003CFF';
        end
        if c(i) \ge -68 \& & c(i) < -60
          rgb2{i}='0096FF';
        end
        if c(i) > = -60 \&\&c(i) < -52
          rgb2{i}='00FFFF';
         end
        if c(i) > = -52 \&\&c(i) < -46
          rgb2{i}='00FF96';
        end
        if c(i) > = -46 \& \& c(i) < -38
          rgb2{i}='00FF00';
        end
        if c(i) > = -38 & c(i) < -32
          rgb2{i}='00B400';
        end
        if c(i) > -32
          rgb2{i}='005000';
        end
    %create a style to hide each point in one document
    fprintf(fid,'%s \n','<Style id="folderStyle">');
fprintf(fid,'%s \n','<ListStyle>');
```

```
fprintf(fid,'%s \n','<listItemType>checkHideChildren</listItemType>');
    fprintf(fid,'%s \n','</ListStyle>');
    fprintf(fid,'%s \n','</Style>');
    %define the point style
        fprintf(fid,'%s \n','<Style id="cpoint">');
fprintf(fid,'%s \n','<IconStyle>');
        fprintf(fid, '%s \n', ['<color>ff', rgb2{i}, '</color>']);
        fprintf(fid,'%s \n',['<Icon><href>http://maps.google.com/mapfiles/',...
             'kml/shapes/shaded dot.png</href></Icon>']);
        fprintf(fid,'%s \n','</IconStyle>');
        fprintf(fid,'%s \n','</Style>');
    %add the placemark
    fprintf(fid, '%s \n','<Placemark>');
fprintf(fid,'%s \n','<styleUrl>#cpoint</styleUrl>');
    %create a simple description for each point
    fprintf(fid, '%s \n', '<description><![CDATA[<table width="200">');
fprintf(fid, '%s \n',['<h2>',namer,'<br>']);
    k = int2str(ind(i));
    fprintf(fid, '%s \n',['<h3>Setor ',k,'<br>']);
fprintf(fid, '%s \n',['<h4>Nivel do Sinal [dBm]: ',sprintf('%.2f',c(i)),'<br>']);
    if ~isempty(t)
        fprintf(fid, '%s \n', ['Time (GMT): ', datestr(t(i)), '<br>']);
    fprintf(fid, '%s \n',']]></description>');
    fprintf(fid,'%s \n','<Point>');
    fprintf(fid,'%s','<coordinates>');
    fprintf(fid, ' %.6f, %.6f, %.2f', [lon(i) lat(i) alt(i)]);
fprintf(fid, '%s \n', '</coordinates>');
    fprintf(fid,'%s \n','<altitudeMode>absolute</altitudeMode>');
fprintf(fid,'%s \n','</Point>');
    if ~isempty(t)
        fprintf(fid,'%s \n','<TimeSpan>');
        fprintf(fid, '%s \n', ['<begin>', datestr(t(1), 29), ...
             'T',datestr(t(1),13),'Z</begin>']);
        fprintf(fid,'%s \n',['<end>',datestr(t(end),29),...
             'T',datestr(t(end),13),'Z</end>']);
        fprintf(fid,'%s \n','</TimeSpan>');
    end
    fprintf(fid, '%s \n','</Placemark>');
    waitbar(i/length(lon),h,sprintf('%d%% complete...',...
        round((i/length(lon))*100));
close(h);
fclose(fid):
```

### Programa de análise da variabilidade em grande escala

```
close all;
clc;
%-----
rt=1; %identifica numero da Rota
%------
%
%
load DESV_LENTO_ROTA1;
dist_m_seg=faixa_larga(:,4); % lê a coluna relativa as distancias em m da matriz MediaMovFinal
```

```
nivel sinal rx=faixa larga(:,5); %% lê a coluna relativa a potencia do sinal de recepção em
dBm da matriz MediaMovFinal
Prx=nivel sinal rx:
 % Distância do segmento em logarítmico
{\tt dist\_km\_seg\_log=log10} \, ({\tt dist\_m\_seg/1000}); \, \, \$ \, \, {\tt Distancia} \, \, {\tt de} \, \, {\tt referencia} \, \, {\tt igual} \, \, {\tt a} \, \, {\tt 1000} \, \, {\tt metros} \, \, {\tt metro
X=[ones(size(dist km seg log)) -dist km seg log];
Y=Prx;
X t=X';
X_t X=X_t X
X^{-}t_{\underline{Y}}=X_{\underline{t}}^{-}t*Y;
\overline{AS} = [X \ t \ X(1,1) \ X \ t \ X(1,2) \ X \ t \ Y(1); \ X \ t \ X(2,1) \ X \ t \ X(2,2) \ X \ t \ Y(2)];
resul=rref(AS);
Prx d 0 est=resul(1,3);
fator_n_prx=resul(2,3)/10;%fator de atenuação em função da distância
intfn=round(fator_n_prx); %aproxima o fator de atenuação para colocar no titulo
fn=int2str(intfn);
Prx est=Prx d 0 est-10*fator_n_prx.*dist_km_seg_log;
 % Desenha a Reta de melhor ajuste
rota=int2str(rt);
figure(1)
plot(dist_km_seg_log,Y,'*b',dist_km_seg_log,Prx_est,'-r','LineWidth',1);
zoom on, grid on
xlabel('Distância em relação ao Tx [km em logarítimo] ', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('Nivel de sinal [dBm]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({['Reta de melhor ajuste para a perda no percurso na Rota ',rota,', n = ',fn]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
saveas(figure(1),['RetaMA Rota',rota],'jpg');
%% Cálculo do desvanecimento lento
Desv lento=Prx-Prx est;
num div=fix(sqrt(length(Desv lento)));
varia lento=Desv lento; % Variação lente sem ordenar
Desv lento=sort(Desv lento); % Ordena os números para melhorar gráfico
 % Dados do histograma
 [n_hist,xout] = hist(Desv_lento,num_div);
delta_x=xout(2)-xout(1);
area_hist=delta_x.*n_hist;
soma area hist=sum(area hist);
area pdf=area_hist/soma_area_hist;
n pdf=area pdf/delta x;
    Desenha histograma
figure(2)
bar(xout,n\_pdf), zoom on, grid on
hold on:
% Cálculo da PDF de Gauss
media=mean(Desv_lento); % Obs.: media tende a zero
desvio padrao=std(Desv lento);
 \texttt{d_p=sqrt(sum(((Desv\_lento).^2))/length(Desv\_lento)); \% Obs.: \'{E} o mesmo valor de a superiority of the superiority of the
p_gauss=(1/(desvio_padrao*sqrt(2*pi)))...
.*exp((-((Desv lento-media).^2))...
 ./(2*desvio padrao^2));
% Desenha gráfico de Gauss
plot(Desv lento,p gauss,'-g','LineWidth',2);
h = legend('PDF Empirica', 'Lognormal', 2, 'Location', 'NorthEast');
set(h,'Interpreter','none');
xlabel('Nivel de sinal [dBm]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('PDF', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({['Comparação PDF Lognormal para a Rota ', rota]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
hold off;
saveas(figure(2),['Desv Larga Escala Rota ',rota],'jpg');
 %% Teste QUI quadrado
bins=0:(length(xout)-1); % Número de pontos para uso no teste <<<====
                                 ______
% PDF Gaussiana *********************************
p gauss qui=(1/(desvio padrao*sqrt(2*pi)))...
 .*exp((-((xout-media).^2))...
 ./(2*desvio_padrao^2));
 % Teste Qui-quadrado PDF Gaussiana
[h gauss,prob_gauss,st_gauss] =
chi2gof(bins, ctrs', bins, 'frequency', n pdf, 'expected', p gauss qui, 'emin', 0, 'nparams', 1);
```

```
st gauss df=st gauss.df;
qui teste gauss=st gauss.chi2stat; % Estatistica Q-quad, O menor valor indica o melhor ajuste
x_qui_teste_gauss = chi2inv(prob_gauss,st_gauss.df); % O MAIOR valor indica o melhor ajuste
save('Qui_teste_gauss_RotaTxateclinica.mat','qui_teste_gauss');
%% Desenha gráfico da Variação lenta já descontando a perda no percurso
figure (3)
plot(varia lento);
zoom on, grid on;
xlabel('Setores', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('Nivel de sinal [dBm]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=(['Variação de grande escala no domínio do tempo para a Rota ', rota]);
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
saveas(figure(3),['Variacao_Lenta_dt_Rota ',rota],'jpg');
%% Desenha gráfico do Nivel de sinal em dBm
figure (4)
plot(Prx);
zoom on, grid on;
xlabel('Setores', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('Nível de sinal [dBm]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=(['Média movente por setor no domínio do tempo Rota ', rota]);
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
saveas(figure(4),['Media Movente Rota',rota],'jpg');
```

## Programa de análise da variabilidade em pequena escala

```
clear all;
close all;
clc:
%%DADOS DE ENTRADA%%
load pot ROTAX %dado de entrada de setores completo
load vetor posicao ROTAX %dado de entrada de setores completo
pot setor = pot setorTxateclinica; %dado de entrada de setores completo
vetor posicao = vetor posicaoTxateclinica; %dado de entrada de setores completo mudar estes
nomes
r trecho=[];
n trecho=[];
xout trecho=[];
n pdf trecho=[];
p1_trecho=[];
p2 trecho=[];
p3 rice trecho=[];
p4 nak trecho=[];
p5 alfa trecho=[];
p1 qui trecho=[];
p2_qui_trecho=[];
p3_rice_qui_trecho=[];
p4 nak qui trecho=[];
p5 alfa qui trecho=[];
% Dados da distribuição Gaussiana
h_gauss_trecho=[];
p gauss trecho=[];
st gauss trecho=[];
st_gauss_df_trecho=[];
qui_teste_gauss_trecho=[];
x_qui_teste_gauss_trecho=[];
% Dados da distribuição Rayleigh
h_ray_trecho=[];
p ray trecho=[];
st_ray_trecho=[];
st_ray_df_trecho=[];
qui teste ray trecho=[];
x_qui_teste_ray_trecho=[];
```

```
% Dados da distribuição Rice
k max=0;
kmin=0:
k inc=0;
sigma rice trecho=[];
k_rice_trecho=[];
r_zero_trecho=[];
h_rice_trecho=[];
p rice trecho=[];
st_rice_trecho=[];
st_rice_df_trecho=[];
qui teste rice trecho=[];
x qui teste rice trecho=[];
% Dados da distribuição Nakagami
M max=0;
M min=0;
M inc=0;
M_nak_trecho=[];
h_nak_trecho=[];
p_nak_trecho=[];
st nak trecho=[];
st nak df trecho=[];
qui_teste_nak_trecho=[];
x_qui_teste_nak_trecho=[];
% Dados da distribuição Alfa-Mi
A max=0;
A_{\min}=0;
A inc=0;
alfa trecho=[];
h_alfa_trecho=[];
p_alfa_trecho=[];
st_alfa_trecho=[];
st alfa df trecho=[];
qui teste alfa trecho=[];
x_qui_teste_alfa_trecho=[];
۶۶۶ *********************
%%% Transforma o arquivo de entrada
응응응***
                                   *********
menor_setor = min(vetor_posicao(:,2)); %tamanho do menor setor
metade menor setor = floor(menor setor/2); %metade do menor setor
resto_menor_setor = mod(menor_setor,2); %resto da divisão por dois do menor setor
dim = size(pot_setor); %dimensões da matriz das potências por setor
numero setores = dim(1); %número de setores
potenciay = zeros(dim(1), menor setor); %matriz que contém as amostras no centro de cada setor
for i = 1:numero_setores
    metade setor = floor(vetor posicao(i, 2)/2);
    minimo = metade_setor - metade_menor_setor + 1;
    maximo = metade_setor + metade_menor_setor + resto_menor_setor;
    potenciay(i,:) = pot_setor(i,minimo:maximo);
taxa=20*10^3; %taxa de amostragem do labview
periodo=1/taxa; %inverso da taxa
tempo_setor=periodo*menor_setor; %tempo de cada setor
R=50; %Impedância em Ohm potenciay = 0.001*(10.^(potenciay./10)); %Passa a potência de dBm para W
tensaoy = sqrt(potenciay.*R); %Tensão em volts
V trecho = tensaoy;
ndBm\_trecho = 10*log10(1000*((V\_trecho.^2)/R)); %Potência em dBm
for m1=1:size(tensaoy,1)
    sinaltotals = tensaoy(m1,:);
    V = sinaltotals;
    media setor = mean(sinaltotals);
    sinal = sinaltotals/media setor; % divide pela media para separar o Desv. Rápido
    sinal ord = sort(sinal); % Ordena números para melhorar gráfico
```

```
r = sinal ord;
        r = r - min(r); % Coloca o valor inicial em zero
        %% Calculo de PDF pelo histograma %
        num div=fix(sqrt(length(r)));
        ^{-} Dados do histograma
        [n,xout] = hist(r,num_div);
        delta x=xout(2)-xout(\overline{1});
        area hist=delta x.*n;
        soma area hist=sum(area hist);
        area_pdf=area_hist/soma_area_hist;
        n pdf=area pdf/delta x;
        % Desenha histograma
        figure(2)
        bar(xout,n_pdf,'c'),zoom on,grid on
        hold on;
        %% Calculo das FDPs teóricas %
        % Distribuição de Gauss (Gaussiana)
        nu=mean(r);
        sigma=std(r);
        p1=(1/(sqrt(2*pi)*sigma)).*exp((-1.*(r-nu).^2)./(2*sigma^2));
        % Desenha gráfico de Gauss
        plot(r,p1,'--g','LineWidth',2);
        hold on;
        % Distribuição de Raileygh
        sigma ray=mean(r)*sqrt(2/pi);
        p2=(r./(sigma_ray^2)).*(exp(-((r.^2)./(2*(sigma_ray^2)))));
        % Desenha gráfico de Raileygh
        plot(r,p2,'-r','LineWidth',2);
        hold on;
        %% Distribuição de Rice para k fixo%
        kc=2;
        sigma rice=mean(r)./(((sqrt(pi/2)*exp(-kc/2)).*(((1+kc).*(besseli(0,kc/2)))+...
        (kc*besseli(1,kc/2))));
        r_zero=sqrt(kc*2*(sigma_rice^2));
        p3=(r./(sigma_rice^2)).*(exp(-((r.^2+r_zero^2)/(2*sigma_rice^2)))).*...
        besseli(0, (r zero.*r)/(sigma rice^2));
        % Desenha gráfico de Rice para k fixo
        %figure
        Valor k=int2str(kc);
        setor=int2str(vetor posicao(m1,1));
        plot(r,p3,'-.b','LineWidth',2);
        hold on;
        %h = legend('PDF Empírica','Gauss','Rayleigh',['Rice
k=',Valor_k],2,'Location','NorthEast');
%set(h,'Interpreter','none');
        %xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 11,'FontWeight', 'bold')
%ylabel('PDF ', 'FontSize', 11,'FontWeight', 'bold')
%titulo=({['Comparação PDF RICE, Gauss e Rayleigh para o Setor ',setor]});
        %title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
        %hold off;
        %%saveas(figure(1),['figasetor',setor],'jpg');
        § ______
         %% Distribuição de Nakagami para M fixo%
        M nakc=1;
        p\overline{4}=(\ 2*((M\ nakc)^M\ nakc))./((gamma(M\ nakc)).*((mean(r.^2))^M\ nakc)).*(r.^(2*M\ nakc)).*(r.^(
1)).*(exp(-(M_nakc/mean(r.^2))* (r.^2)));
        % Desenha gráfico de Nakagami para M fixo
        Valor_M=int2str(M_nakc);
        plot(r,p4,'--y','LineWidth',2);
        § -----
```

```
alfac=3:
    Mi = (mean (r.^alfac).^2)./(mean(r.^(2*alfac))-(mean(r.^alfac)^2));
    alfa_root_mean=(mean(r.^alfac)).^(1/alfac);
    p5 = ((alfac*(Mi^Mi)*(r.^((alfac*Mi)-1)))./(alfa_root_mean.^(alfac*Mi).* gamma(Mi))).*...
        exp(-Mi.*(r.^alfac./alfa root mean.^alfac));
    % Desenha gráfico de Alfa-Mi para Alfa fixo
    Valor A=int2str(alfac);
    plot(r,p5,'-.m','LineWidth',2);
    hold on;
    h = legend('fdp Empirica','Gauss','Rayleigh',['Rice p/ k=',Valor k],2,['Nakagami p/
m=', Valor M], 2, ...
        ['Alpha-mu p/ alpha=', Valor A], 2, 'Location', 'northeast');
    set(h,'Interpreter','none');
    xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 11,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp ', 'FontSize', 11,'FontWeight', 'bold')
    titulo=({['Comparação da fdp de Gauss, Rayleigh, Rice, Nakagami e Alpha-mu para o Setor
',setor]});
    title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
    hold off;
    %%saveas(figure(1),['figasetor_',setor],'jpg');
%end
 %% Distribuição de Rice variando K %
    % -----
    k min=0; % Valor mínimo de k
    k inc=1; % Incremento de k
    k max=50; % fator K de Rice máximo
    p\overline{3} = [];
    p3_tot=[];
    for k_rice=k_min:k_inc:k_max;
    sigma rice=mean(r)./(((sqrt(pi/2)*exp(-
k rice/2)).*(((1+k rice).*(besseli(0,k rice/2)))+...
    (k rice*besseli(1,k_rice/2))));
    r_zero=sqrt(k_rice*2*(sigma_rice^2));
    p3=(r./(sigma_rice^2)).*(exp(-((r.^2+r_zero^2)/(2*sigma_rice^2)))).*...
    besseli(0,(r zero.*r)/(sigma rice^2));
    p3_tot=[p3_tot;p3];
    end
    %% Distribuição de Nakagami variando M %
    M min=0.5; %1; % Valor mínimo de M
    Minc=0.1; %1; % Incremento de M
    M max=20; %5; % fator M de Nakagami máximo
    p4=[];
    p4_tot=[];
    for M nak=M min:M inc:M max;
    %%%M nak = (\text{mean } (\text{r.}^2)) / var (\text{r.}^2);
    omega=mean(r.^2);
    p4 = ((\ 2*((M_nak)^M_nak))/((gamma(M_nak))*(omega^M_nak \ ))).*(r.^(2*M_nak-1)).*...
        (\exp(-(M \text{ nak/omega}).* (r.^2)));
    %%%p4=( 2*((M nak)^M nak))./((gamma(M nak)).*((mean(r.^2))^M nak )).*...
        %%% (r.^(2*M nak-1)).*(exp(-(M nak/mean(r.^2))* (r.^2)));
    p4_tot=[p4_tot;p4];
    end
 %% Distribuição de Alfa-Mi Alfa variando %
    A_min=0; % Valor mínimo de M
    A inc=0.1; %1; % Incremento de M
    A max=30; %5; % fator M de Nakagami máximo
    p\overline{5} = [];
    p5 tot=[];
    for alfa=A_min:A_inc:A_max;
    Mi = (mean (r.^alfa).^2)./(mean (r.^(2*alfa))-(mean (r.^alfa)^2));
    alfa root mean=(mean(r.^alfa)).^(1/alfa);
    p5 = ((alfa*(Mi^Mi)*(r.^((alfa*Mi)-1)))./(alfa_root_mean.^(alfa*Mi).* gamma(Mi))).*...
```

```
exp(-Mi.*(r.^alfa./alfa root mean.^alfa));
         p5 tot=[p5 tot;p5];
         end
%% Teste Qui-quadrado para PDF pelo histograma %
          \% Número de pontos para uso no teste <<<====
         bins=0:(length(xout)-1);
         % PDF Gaussiana *********************************
         p1 qui=(1/(sqrt(2*pi)*sigma)).*exp((-1.*(xout-nu).^2)./(2*sigma^2));
          % Teste Qui-quadrado PDF Gaussiana
          [h_gauss,p_gauss,st_gauss] =
chi2gof(bins,'ctrs',bins,'frequency',n_pdf,'expected',pl_qui,'emin',0,'nparams',2);
          st gauss df=st gauss.df; % emin = 0 não reagrupa
         qui teste gauss=st gauss.chi2stat; % Estatistica Q-quad, O menor valor indica o melhor
ajuste
          \texttt{x\_qui\_teste\_gauss} = \texttt{chi2inv} (\texttt{p\_gauss,st\_gauss.df}) \; \texttt{\%} \; \texttt{O} \; \texttt{MAIOR} \; \texttt{valor} \; \texttt{indica} \; \texttt{o} \; \texttt{melhor} \; \texttt{ajuste} \; \texttt{o} \; \texttt{melhor} \; \texttt{o} \; \texttt{melhor} \; \texttt{o} \; \texttt{o
          %%qui_gauss_trecho(m1)=qui_teste_gauss;
          % PDF Rayleigh ****************************
         p2 qui=(xout./(sigma ray^2)).*(exp(-((xout.^2)/(2*sigma ray^2))));
          % Teste Qui-quadrado PDF Rayleigh
          [h_ray,p_ray,st_ray] =
chi2gof(bins,'ctrs',bins,'frequency',n pdf,'expected',p2 qui,'emin',0,'nparams',1);
          st ray df=st ray.df;
          qui teste ray=st ray.chi2stat; % O menor valor indica o melhor ajuste
         x_qui_teste_ray = chi2inv(p_ray,st_ray.df); % O MAIOR valor indica o melhor ajuste
          %%qui_ray_trecho(m1)=qui_teste_ray;
         p3 qui=[];
         p3_qui_tot=[];
         sigma_rice_tot=[];
         k_rice_tot=[];
         r_zero_tot=[];
         h_rice_tot=[];
         p_rice_tot=[];
         st rice tot=[];
         st_rice_df_tot=[];
         qui teste rice tot=[];
         x_qui_teste_rice_tot=[];
         k min=0; % Valor mínimo de k
          k inc=1; % Incremento de k
          k max=50; % fator K de Rice máximo
          for k rice=k min:k inc:k max %fat reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<=== IMPORTANTE</pre>
                     sigma rice=mean(r)./(((sqrt(pi/2)*exp(-
k_rice/2)).*(((1+k_rice).*(besseli(0,k_rice/2)))+...
           (k_rice*besseli(1,k_rice/2))));
          r_zero=sqrt(k_rice*2*(sigma_rice*2));
         p3_qui=(xout./(sigma_rice^2)).*(exp(-((xout.^2+r_zero^2)/...
(2*sigma_rice^2)))).*besseli(0,(r_zero.*xout)/(sigma_rice^2));
         p3 qui tot=[p3 qui tot;p3 qui];%
          % Teste Qui-quadrado PDF Rice
[h_rice,p_rice,st_rice] =
chi2gof(bins,'ctrs',bins,'frequency',n_pdf,'expected',p3_qui,'emin',0,'nparams',2);
         qui teste rice=st rice.chi2stat; % O menor valor indica o melhor ajuste
         x qui teste rice = chi2inv(p rice, st rice.df); % O MAIOR valor indica o melhor ajuste
         % Acumula valores
         sigma_rice_tot=[sigma_rice_tot;sigma_rice];
          k rice tot=[k rice tot;k rice];
         r_zero_tot=[r_zero_tot;r_zero];
         h_rice_tot=[h_rice_tot;h_rice];
         p_rice_tot=[p_rice_tot;p_rice];
st_rice_tot=[st_rice_tot;st_rice];
          st_rice_df_tot=[st_rice_df_tot;st_rice.df];
```

```
qui teste rice tot=[qui teste rice tot;qui teste rice];
   x qui teste rice tot=[x qui teste rice tot;x qui teste rice];
   end
   % -----
   % *** Valores finais da análise de Rice ***
    % Valor mínimo da estatística OUT-OUADRADO
    [Cmin, Imin] = min(qui teste rice tot); %O menor valor indica o melhor ajuste
    [Cmax, Imax] = max(x qui teste rice tot);
    % Alternativamente poderia ser: [Cmax,Imax] = max(x qui teste rice tot); %O MAIOR valor
indica o melhor ajuste
   %Guardar valores de Rice somente para o fator K com menor valor no QUI-QUADRADO
    % IMPORTANTE: K=(Imin-1)é o valor K que ocasiona o menor resultado no QUI-QUADRADO
   p3 fim=p3 tot(Imin,:);
   p3_qui_fim=p3_qui_tot(Imin,:);
   sigma rice fim=sigma rice tot(Imin);
   k rice fim=k rice tot(Imin);
   r_zero_fim=r_zero_tot(Imin);
   h_rice_fim=h_rice_tot(Imin);
   p_rice_fim=p_rice_tot(Imin);
   st rice fim=st rice tot(Imin);
   st_rice_df_fim=st_rice_df_tot(Imin);
   qui_teste_rice_fim=qui_teste_rice_tot(Imin);
   x_qui_teste_rice_fim=x_qui_teste_rice_tot(Imin);
    %%qui_rice_trecho(m1)=qui_teste_rice_fim;
   %% Teste Qui-quadrado para PDF pelo histograma usando a definição K fixo %
   %%quiquadrado=somatoio(valor observado-valor esperado)^2/valor esperado
   quiquadrado gauss=0;
   quiquadrado ray=0;
   quiquadrado_rice fixo=0;
   n niveis=length(xout);
   I kc=kc+1;
   for i=1:n niveis
   quiquadrado_gauss=((n_pdf(i)-p1 qui(i))^2/p1 qui(i))+quiquadrado gauss;
   quiquadrado_ray=((n_pdf(i)-p2_qui(i))^2/p2_qui(i))+quiquadrado_ray;
   quiquadrado_rice_fixo=((n_pdf(i)-
p3_qui_tot(I_kc,i))^2/p3_qui_tot(I_kc,i))+quiquadrado_rice_fixo;
    %%quiquadrado_gauss_trecho(m1)=quiquadrado gauss;
    %%quiquadrado ray trecho(m1)=quiquadrado ray;
    %% Teste Qui-quadrado para PDF Rice pelo histograma, usando a definição, com K variando %
   %%quiquadrado=somatório(valor observado-valor esperado)^2/valor esperado
   quiquadrado rice tot=[];
   k_min=0; % Valor mínimo de k
    k inc=1; % Incremento de k
   k max=50; % fator K de Rice máximo
    % fat reduc=0.001;
   for k_rice=k_min:k_inc:k_max %fat_reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<=== IMPORTANTE</pre>
    % Teste Qui-quadrado PDF Rice
   quiquadrado rice=0;
    I k rice=k rice+1;
   for i=1:n_niveis
    quiquadrado rice=((n pdf(i)-
p3 qui tot(I k rice,i))^2/p3 qui tot(I k rice,i))+quiquadrado rice;
   end
    % Acumula valores
   quiquadrado rice tot=[quiquadrado rice tot;quiquadrado rice];
   end
    % *** Valores finais da análise de Rice pelo ***
    % Valor mínimo da estatística QUI-QUADRADO usando a definição
    [Cdmin,Idmin] = min(quiquadrado_rice_tot); %O menor valor indica o melhor ajuste
   %Guardar valores de Rice somente para o fator K com menor valor no QUI-QUADRADO usando a
definição
    % IMPORTANTE: K=(Idmin-1)é o valor K que ocasiona o menor resultado no QUI-QUADRADO
   p3_fimd=p3_tot(Idmin,:);
   p3 qui fimd=p3 qui tot(Idmin,:);
   sigma rice fimd=sigma_rice_tot(Idmin);
   k_rice_fimd=k_rice_tot(Idmin);
```

```
r zero fimd=r zero tot(Idmin);
   quiquadrado rice fim=quiquadrado rice tot(Idmin);
   %%quiquadrado_rice_trecho(m1)=quiquadrado_rice_fim;
   % PDF Nakagami *****************************
   p4 qui=[];
   p4 qui tot=[];
   %%%sigma nak tot=[];
   M_nak_tot=[];
   %%%r zero tot=[];
   h_nak_tot=[];
   p_nak_tot=[];
   st_nak_tot=[];
   st nak df tot=[];
   qui_teste_nak_tot=[];
   x_qui_teste_nak_tot=[];
   M min=0.5; % Valor mínimo de M
   M inc=0.1; % Incremento de M
   M max=20; %5; % fator M de Nakagami máximo
   for M_nak=M_min:M_inc:M_max %fat_reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<=== IMPORTANTE</pre>
        %%% sigma rice=mean(r)./(((sqrt(pi/2)*exp(-
k rice/2)).*(((1+k rice).*(besseli(0,k rice/2)))+...
   %%%(k_rice*besseli(1,k_rice/2)))));
   %%% r zero=sqrt(k rice*2*(sigma rice^2));
   omega=mean(r.^2);
   %%%p4 qui=( 2*((M nak)^M nak) )/(gamma (M nak)* ((mean(xout.^2))^M nak))* ...
        %% (xout.^{(2*M_nak-1)}) * (exp(-(M_nak/mean(xout.^{(2)})) * (xout.^{(2)}));
   p4 qui=(( 2*((M nak)^M nak))/((gamma(M nak))*(omega^M nak ))).*(xout.^(2*M nak-1)).*...
        (exp(-(M nak/omega).* (xout.^2)));
   p4_qui_tot=[p4_qui_tot;p4_qui];
% Teste Qui-quadrado PDF Nakagami
   [h_nak,p_nak,st_nak] =
chi2gof(bins, ctrs', bins, frequency', n_pdf, expected', p4_qui, emin', 0, nparams', 2);
   qui teste nak=st nak.chi2stat; % 0 menor valor indica o melhor ajuste
   x_qui_teste_nak = chi2inv(p_nak,st_nak.df); % O MAIOR valor indica o melhor ajuste
% Acumula valores
    %%% sigma rice tot=[sigma rice tot;sigma rice];
   M nak tot=[M nak tot; M nak];
   %%% r_zero_tot=[r_zero_tot;r_zero];
   h_nak_tot=[h_nak_tot;h_nak];
   p nak tot=[p nak tot;p nak];
   st_nak_tot=[st_nak_tot;st_nak];
st_nak_df_tot=[st_nak_df_tot;st_nak.df];
   qui_teste_nak_tot=[qui_teste_nak_tot;qui_teste_nak];
   x_qui_teste_nak_tot=[x_qui_teste_nak_tot;x_qui_teste_nak];
   % *** Valores finais da análise de Nakagami ***
   % Valor mínimo da estatística QUI-QUADRADO
    [Cmin,Imin] = min(qui_teste_nak_tot); %O menor valor indica o melhor ajuste
    [Cmax, Imax] = max(x qui teste nak tot);
   % Alternativamente poderia ser: [Cmax,Imax] = max(x qui teste rice tot); %O MAIOR valor
indica o melhor ajuste
    %Guardar valores de Nakagami somente para o fator M com menor valor no QUI-QUADRADO
   % IMPORTANTE: M=(Imin-1)é o valor M que ocasiona o menor resultado no QUI-QUADRADO
   p4 fim=p4 tot(Imin,:);
   p4_qui_fim=p4_qui_tot(Imin,:);
   %% sigma rice fim=sigma rice_tot(Imin);
   M_nak_fim=M_nak_tot(Imin);
   %%% r_zero_fim=r_zero_tot(Imin);
h_nak_fim=h_nak_tot(Imin);
   p_nak_fim=p_nak_tot(Imin);
```

```
st nak fim=st nak tot(Imin);
   st nak df fim=st nak df tot(Imin);
   qui_teste_nak_fim=qui_teste_nak_tot(Imin);
   x_qui_teste_nak_fim=x_qui_teste_nak_tot(Imin);
    %% qui_nak_trecho(m1)=qui_teste_nak_fim;
   %% Teste Qui-quadrado para PDF Nakagami pelo histograma, usando a definição, com M
variando %
    %%quiquadrado=somatório(valor observado-valor esperado)^2/valor esperado
    quiquadrado nak tot=[];
   M_min=0; % Valor mínimo de M
   M inc=1; % Incremento de M
   M max=20; %5; % fator M de Nakagami máximo
    % fat reduc=0.001;
   for M nak=M min:M inc:M max
    % Teste Qui-quadrado PDF Rice
   quiquadrado nak=0;
    I M nak=M nak+1;
    for i=1:n niveis
    quiquadrado_nak=((n_pdf(i)-
p4_qui_tot(I_M_nak,i))^2/p4_qui_tot(I_M_nak,i))+quiquadrado_nak;
    % Acumula valores
   quiquadrado nak tot=[quiquadrado nak tot;quiquadrado nak];
    end
    % *** Valores finais da análise de Nakagami pelo ***
    % Valor mínimo da estatística QUI-QUADRADO usando a definição
    [Cdmin,Idmin] = min(quiquadrado_nak_tot); %O menor valor indica o melhor ajuste
    %Guardar valores de Nakagami somente para o fator M com menor valor no QUI-QUADRADO usando
a definição
    % IMPORTANTE: K=(Idmin-1)é o valor K que ocasiona o menor resultado no QUI-QUADRADO
   p4_fimd=p4_tot(Idmin,:);
    p4_qui_fimd=p4_qui_tot(Idmin,:);
    %%% sigma_rice_fimd=sigma_rice_tot(Idmin);
   M nak fimd=M nak tot(Idmin);
    %%% r_zero_fimd=r_zero_tot(Idmin);
    %%quiquadrado_nak_fim=quiquadrado_nak_tot(Idmin);
    %%quiquadrado_nak_trecho(m1)=quiquadrado_nak_fim;
   % PDF Alfa-Mi ***********************************
    § ______
   p5 qui=[];
   p5_qui_tot=[];
    %%%sigma_nak_tot=[];
   alfa tot=[];
   %%%r_zero_tot=[];
h alfa tot=[];
   p_alfa_tot=[];
    st_alfa_tot=[];
   st alfa df tot=[];
   qui_teste_alfa tot=[];
   x_qui_teste_alfa_tot=[];
   A_min=0; % Valor mínimo de Alfa
    A inc=0.1; %1; % Incremento de Alfa
   A max=30; %5; % fator Alfa de Alfa-Mi máximo
    for alfa=A min:A inc:A max %fat reduc*(1/(2*sigma^2)); <<<=== IMPORTANTE
        Mi = (mean (r.^alfa).^2)./(mean (r.^(2*alfa))-(mean (r.^alfa)^2));
       alfa_root_mean=(mean(r.^alfa)).^(1/alfa);
        p5_qui=((alfa*(Mi^Mi)*(xout.^((alfa*Mi)-1)))./(alfa_root_mean.^(alfa*Mi).*
gamma(Mi))).*..
        exp(-Mi.*(xout.^alfa./alfa root mean.^alfa));
        p5_qui_tot=[p5_qui_tot;p5_qui];
```

```
[h_alfa,p_alfa,st_alfa] =
chi2gof(bins, ctrs', bins, frequency', n pdf, expected', p5 qui, emin', 0, nparams', 2);
    qui teste alfa=st alfa.chi2stat; % O menor valor indica o melhor ajuste
    x_qui_teste_alfa = chi2inv(p_alfa,st_alfa.df); % O MAIOR valor indica o melhor ajuste
 % Acumula valores
    %%% sigma_rice_tot=[sigma_rice_tot;sigma_rice];
   alfa tot=[alfa tot;alfa];
   h_alfa_tot=[h_alfa_tot;h_alfa];
   p_alfa_tot=[p_alfa_tot;p_alfa];
    st_alfa_tot=[st_alfa_tot;st_alfa];
   st_alfa_df_tot=[st_alfa_df_tot;st_alfa.df];
qui_teste_alfa_tot=[qui_teste_alfa_tot;qui_teste_alfa];
    x qui teste alfa tot=[x qui teste alfa tot;x qui teste alfa];
         _____
    응 ---
    \% *** Valores finais da análise de Alfa_Mi ***
    § ______
    % Valor mínimo da estatística QUI-QUADRADO
    [Cmin, Imin] = min(qui_teste_alfa_tot); %O menor valor indica o melhor ajuste
    [Cmax,Imax] = max(x_qui_teste_alfa_tot);
    % Alternativamente poderia ser: [Cmax,Imax] = max(x qui teste rice tot); %O MAIOR valor
indica o melhor ajuste
    §-----
    %Guardar valores de Alfa-Mi somente para o fator Alfa com menor valor no QUI-QUADRADO
    % IMPORTANTE: M=(Imin-1)é o valor M que ocasiona o menor resultado no QUI-QUADRADO
   p5 fim=p5 tot(Imin,:);
   p5_qui_fim=p5_qui_tot(Imin,:);
    %%% sigma rice fim=sigma rice tot(Imin);
    alfa fim=alfa tot(Imin);
    %%% r zero fim=r zero tot(Imin);
   h_alfa_fim=h_alfa_tot(Imin);
   p_alfa_fim=p_alfa_tot(Imin);
    st_alfa_fim=st_alfa_tot(Imin);
    st alfa df fim=st alfa df tot(Imin);
   qui teste alfa fim=qui teste_alfa_tot(Imin);
   x qui_teste_alfa_fim=x_qui_teste_alfa_tot(Imin);
    %% qui_nak_trecho(m1)=qui_teste_nak_fim;
     %% Teste Qui-quadrado para PDF pelo histograma usando a definição K, M e alfa fixos %
    %quiquadrado=somatório(valor observado-valor esperado)^2/valor esperado
    quiquadrado_gauss=0;
    quiquadrado_ray=0;
    quiquadrado rice fixo=0;
   quiquadrado_nak_fixo=0;
   quiquadrado alfa fixo=0;
   n niveis=length(xout);
    I^{-}kc=kc+1;
    I M=M nakc+1;
    I A=alfac+1;
    for i=1:n_niveis
    quiquadrado gauss=((n pdf(i)-p1 qui(i))^2/p1 qui(i))+quiquadrado gauss;
    quiquadrado_ray=((n_pdf(i)-p2_qui(i))^2/p2_qui(i))+quiquadrado_ray;
quiquadrado_rice_fixo=((n_pdf(i)-
p3_qui_tot(I_kc,i))^2/p3_qui_tot(I_kc,i))+quiquadrado_rice_fixo;
    quiquadrado_nak_fixo=((n_pdf(i)-
p4 qui tot(I M, i))^{2}/p4 qui tot(I M, i))+quiquadrado nak fixo;
   quiquadrado alfa fixo=((n pdf(i)-
p5_qui_tot(I_A,i))^2/p5_qui_tot(I_A,i))+quiquadrado_alfa_fixo;
    end
    %%quiquadrado_gauss_trecho(m1)=quiquadrado_gauss;
    %%quiquadrado_ray_trecho(m1)=quiquadrado_ray;
    %% Teste Qui-quadrado para PDF Alfa-Mi pelo histograma, usando a definição, com Alfa
variando %
    %%quiquadrado=somatório(valor observado-valor esperado)^2/valor esperado
    quiquadrado_alfa_tot=[];
   A_min=0; % Valor mínimo de Alfa
    A inc=1; % Incremento de Alfa
   A max=30; %5; % fator Alfa de Alfa-Mi máximo
   for alfa=A min:A inc:A max
    % Teste Qui-quadrado PDF Alfa-Mi
    quiquadrado alfa=0;
    I alfa=alfa+1;
    for i=1:n_niveis
```

```
quiquadrado alfa=((n pdf(i)-
p5 qui tot(I alfa,i))^2/p5 qui tot(I alfa,i))+quiquadrado alfa;
    end
    % Acumula valores
    quiquadrado_alfa_tot=[quiquadrado_alfa_tot;quiquadrado_alfa];
    % *** Valores finais da análise de Alfa-Mi pelo ***
    % Valor mínimo da estatística QUI-QUADRADO usando a definição
    [Cdmin, Idmin] = min(quiquadrado alfa tot); %O menor valor indica o melhor ajuste
    %Guardar valores de Alfa-Mi somente para o fator Alfa com menor valor no QUI-QUADRADO
usando a definição
    % IMPORTANTE: K=(Idmin-1)é o valor K que ocasiona o menor resultado no QUI-QUADRADO
    p5 fimd=p5 tot(Idmin,:);
    p5 qui fimd=p5 qui tot(Idmin,:);
    %% sigma_rice_fimd=sigma_rice_tot(Idmin);
    alfa_fimd=alfa_tot(Idmin);
    %%% r_zero_fimd=r_zero_tot(Idmin);
    quiquadrado alfa fim=quiquadrado alfa tot(Idmin);
    %%%quiquadrado alfa trecho(m1)=quiquadrado alfa fim;
    8 -----
    % Desenho dos valores finais da PDF calculada da pequena área
    Valor_kf=int2str(k_rice_fim);
    Valor Mf=int2str(M nak fim);
    Valor Af=int2str(alfa fim);
    figure(1)
    subplot(3,2,1:2)
    %%plot(xiouta,pdfma,'.k','MarkerSize',5),zoom on,grid on
    %%hold on;
    bar(xout, n pdf, 'c'); zoom on, grid on;
    %%plot(xout,n_pdf,'.m')
    hold on;
   plot(r,p1,'--g','LineWidth',2);
plot(r,p2,'-r','LineWidth',2);
plot(r,p3_fim,'-.b','LineWidth',2);
plot(r,p4_fim,'-.y','LineWidth',2);
    plot(r,p5 fim,'-.m','LineWidth',2);
    h = legend('fdp Empirica', 'Gauss', 'Rayleigh', ['Rice - k=', Valor kf], 2, ['Nakagami -
m=', Valor Mf], 2, ...
        ['Alpha-mu - alpha=', Valor Af], 2, 'Location', 'NorthEast');
    set(h,'Interpreter','none');
    titulo=({['Valores finais calculados para o desvanecimento em pequena área - Setor
',setor,':'];...
    '(a) Comparação da fdp de Gauss, Rayleigh, Rice, Nakagami e \alpha-\mu'});
    title(titulo, 'FontSize', 12);
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize',9)
    ylabel('fdp', 'FontSize', 10)
    %%%saveas(figure(2),['figbsetor',setor],'jpg');
    %% Cálcula da Taxa de cruzamento de níveis e duração média de fading %
    % Cálculo da taxa de cruzamentos de nível e tempo
    % médio de desvanecimento teóricos por Rayleigh
    sinal RMS=norm(sinal ord)/sqrt(length(sinal ord)); % Valor RMS do sinal
    Ro=sinal ord./sinal RMS;
    Ro db=20*log10(Ro); % Ro em dB
    NR_Ray=(sqrt(2*pi).*Ro.*exp(-(Ro.^2)));
    %%%Nc_Ray=NR_Ray.*(20*10^-3);
    AFD Ray=(((\exp(\text{Ro.}^2))-1)./(\exp(\text{Ro.}^*\text{sqrt}(2^*\text{pi})));
    NR Ray=NR Ray./max(NR Ray); % Normaliza para o valor máximo
    AFD_Ray=AFD_Ray./max(AFD_Ray);% Normaliza para o valor máximo
    % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo
    % médio de desvanecimento teóricos por Rice
```

```
((1+k_rice_fim)).*(Ro.^2)))).*(besseli(0,2.*Ro.*(sqrt(k_rice_fim.*(1+k_rice_fim)))));
      %%%Nc Rice=NR Rice.*(20*10^-3);
      NR Rice=NR Rice./max(NR_Rice); % Normaliza para o valor máximo
      AFD rice=AFD rice./max(AFD rice); % Normaliza para o valor máximo
      % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo
      % médio de desvanecimento teóricos por Nakagami
      NR nak=((sqrt(2*pi))*(M nak fim^(M nak fim - 0.5)).*(Ro.^(2*M nak fim - 1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1)).*(exp(-1))
M_nak_fim.*(Ro.^2))))./((gamma(M_nak_fim)));
      %AFD_nak=(gammainc(M_nak,M_nak.*Ro.^2))./(NR_nak); %((sqrt(2*pi))*( M_nak^(M_nak -
0.5)) * (Ro.^(2*M nak - 1)).* (exp(- M nak*(Ro.^2))));
AFD_nak=((gammainc(M_nak_fim.*(Ro.^2),M_nak_fim)).*(exp(M_nak_fim.*(Ro.^2))))./((sqrt(2*pi.*(M_nak_fim.^(2*M_nak_fim - 1)))).*((Ro.^(2.*M_nak_fim - 1))));
      NR_nak=NR_nak./max(NR_nak); % Normaliza para o valor máximo
      AFD nak=AFD nak./max(AFD nak);
       %-----
      % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo
      % médio de desvanecimento teóricos por Alfa-Mi
      sinal RMS alfa=((mean(sinal ord.^alfa fim)).^(1./alfa fim)); % Valor RMS do sinal
      Ro alfa=sinal ord./sinal RMS alfa;
      Ro db alfa=20*log10(Ro alfa); % Ro em dB
       \label{eq:nr}  \mbox{NR alfa=((sqrt(2*pi)).*(Ro alfa.^(alfa fim*(Mi-0.5)))*(Mi^(Mi-0.5)).*(exp(-1.5))).} 
Mi.*(Ro alfa.^(alfa fim)))))./(gamma(Mi));
      AFD alfa=
(((gammainc(Mi.*(Ro_alfa.^(alfa_fim)),Mi))).*(exp(Mi.*(Ro_alfa.^(alfa_fim)))))./((sqrt(2*pi)).
*(Ro_alfa.^(alfa_fim*(Mi-0.5)))*(Mi^(Mi-0.5)));
      %NR_alfa=((sqrt(2*pi)).*(Ro.^(alfa_fim*(Mi-0.5)))*(Mi^(Mi-0.5)).*(exp(-
Mi.*(Ro.^(alfa fim))./(mean(Ro.^2)))))/((gamma(Mi)).*(mean(Ro.^2).^(Mi-0.5)));
      %%%Nc Rice=NR Rice.*(20*10^-3);
      %%%AFD alfa= ((gammainc(Mi,Mi.*Ro.^(alfa fim))./(mean(Ro.^2))).*((mean(Ro.^2))^(Mi-
0.5)))./(NR alfa);
      %AFD alfa=(gammainc(Mi.*Ro.^(alfa fim)./mean(Ro.^2),Mi).*((mean(Ro.^2))^(Mi-mean(Ro.^2))
0.5)).*(exp(Mi.*Ro.^alfa_fim./mean(Ro.^2))))./((sqrt(2*pi)).*(Ro.^(alfa_fim*(Mi-
0.5))) * (Mi^(Mi-0.5)));
      NR alfa=NR alfa./max(NR alfa); % Normaliza para o valor máximo
      AFD alfa=AFD alfa./max(AFD alfa); % Normaliza para o valor máximo
      %_____
      % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo
      % médio de desvanecimento a partir dos dados do sinal medido (empírico)
      Ro_thr=sinal./sig_RMS;
      thri=linspace(0.1,(max(Ro thr)),250);
      thr=(thri(1:(length(thri)-1)));
      %%thr=linspace(0.1,sqrt(10),250); % Determina níveis
      %%thr=linspace(min(Ro thr), max(Ro thr), length(Ro thr)); % Determina níveis em todo o
intervalo
     thr_norm_db=20*log10(thr); % Passa para dB
      % Calcula a taxa de cruzamento e duração média do desvanecimento para cada limite
      lcf=zeros(size(thr));
      afd=zeros(size(thr));
      temp am=1/taxa; %Perído de uma amostra
      for i = 1: length(thr),
      %%i=10;
      %______
      % Taxa de cruzamento de nível
      tmp = (Ro thr > thr(i));
      tmp = (sinal > thr(i));
```

```
tmp = diff(tmp);
   lcf(i) = sum(tmp==1);
                             ._____
   tmp\_afd = (Ro\_thr < thr(i));
   %tmp = afd = (sinal < thr(i));
   afd (i)=((sum(tmp afd==1))/menor setor)/(lcf(i));% Prob. / Nc % divide pela quantidade
de amostras pelo setor
   end
   lcf=lcf/tempo setor;% divide pelo tempo de duração do setor
   lcf fm=lcf/(40/\text{tempo setor}); % divide pelo máximo desvio da frequencia
   \verb|afd=| \verb|afd*tempo_setor|; | \verb|§| Multiplica pela duração de um setor|
   afdx fm=afd*(40/tempo setor);% multiplica pelo máximo desvio da frequencia
   lcf=(lcf./max(lcf));% Normaliza para o valor máximo
   lcf fm=(lcf fm./max(lcf fm));% Normaliza para o valor máximo
   afd=(afd./max(afd)); % Normaliza para o valor máximo
   afdx fm=(afdx fm./max(afdx fm)); % Normaliza para o valor máximo
   §_____
   % Calculo do numero de cruzamentos de nível e tempo médio de
   % desvanecimento a partir dos dados do sinal medido (empírico) considerando
   % fdp alpha-mu
   sig_RMS_alfa=((mean(sinal_ord.^alfa_fim)).^(1./alfa_fim)); % Valor RMS do sinal
   Ro thr alfa=sinal./sig RMS alfa; % patamar alfa-mu
   thri alfa=linspace(0.1, (max(Ro thr alfa)),250);
   thr_alfa=(thri_alfa(1:(length(thri_alfa)-1)));
    %%thr=linspace(0.1,sqrt(10),250); % Determina níveis
   %*thr=linspace(min(Ro thr), max(Ro thr),length(Ro thr)); % Determina níveis em todo o
intervalo
   thr_norm_db_alfa=20*log10(thr_alfa); % Passa para dB
   lcf alfa=zeros(size(thr alfa));
   afd alfa=zeros(size(thr alfa));
   %%%temp_am=1/1220; % Perído de uma amostra
   for i = 1:length(thr alfa),
   % Taxa de cruzamento de nível
   % -----
   tmp_alfa = ( Ro_thr_alfa > thr_alfa(i) );
   %tmp = (sinal > thr(i));
   tmp_alfa = diff( tmp_alfa );
lcf_alfa( i ) = sum( tmp_alfa==1 );
                                           _____
   tmp afd alfa = (Ro thr alfa < thr alfa(i));</pre>
   %tmp afd = (sinal < thr(i));
   afd_alfa (i)=((sum(tmp_afd_alfa==1))/menor_setor)/(lcf_alfa( i ));% Prob. / Nc % divide
pela quantidade de amostras pelo setor
   lcf_alfa=lcf_alfa/tempo_setor;% divide pelo tempo de duração do setor
   lcf_fm_alfa=\(\frac{1}{2}\)cf_alfa/(4\(\frac{1}{2}\)/tempo_setor);% divide pelo máximo desvio da frequencia
   afd alfa=afd alfa*tempo setor; Multiplica pelo tempo de aquisição de um setor,
   afdx fm alfa=afd alfa*(40/tempo setor); % multiplica pelo máximo desvio da frequencia
   lcf alfa=(lcf alfa./max(lcf alfa));% Normaliza para o valor máximo
   lcf_fm_alfa=(lcf_fm_alfa./max(lcf_fm_alfa));% Normaliza para o valor máximo
   afd_alfa=(afd_alfa./max(afd_alfa)); % Normaliza para o valor máximo
   afdx_fm_alfa=(afdx_fm_alfa./max(afdx_fm_alfa)); % Normaliza para o valor máximo
   % Gráfico do numero de cruzamentos de nível por Rayleigh, Rice, Nakagami e do Sinal medido
   subplot(3,2,[3 5])
   semilogy(Ro_db,NR Ray, '-r','LineWidth',2)
   axis([-25 5 10^-5 10^0.5]); % Limita os eixos
   zoom on, grid on
   hold on
   semilogy(Ro db,NR Rice,'-.b','LineWidth',2)
```

```
semilogy(Ro db,NR nak,'-.y','LineWidth',2)
    %semilogy(Ro_db_alfa,NR alfa,'-.m','LineWidth',2)
    %hold on
    semilogy(thr norm db,lcf fm,'ok','MarkerSize',3)
    ylabel('Nr / fm', 'FontSize', 10)
    xlabel('\rho (dB)','FontSize',9)
    titulo=({'(b) Taxa de Cruzamento de Nível Normalizada'});
    title(titulo, 'FontSize',8);
    legend('Teórica - Rayleigh','Teórica - Rice','Teórica - Nakagami',...
        'Medida', 'Location', 'southeast')
    hold off
    %%%saveas(figure(3),['figcsetor',setor],'jpg');
    % Gráfico do numero do tempo médio de desvanecimento por Rayleigh, Rice e do Sinal medido
    %______
    subplot(3,2,[4 6])
    %%%figure
    semilogy(Ro db, AFD Ray, '-r', 'LineWidth', 2)
    axis([-25 5 10^-5 10^0.5]); % Limita os eixos
    zoom on, grid on
    hold on
    semilogy(Ro db,AFD rice,'-.b','LineWidth',2)
    hold on
    semilogy(Ro db,AFD nak,'-.y','LineWidth',2)
    hold on
    %semilogy(Ro db alfa, AFD alfa, '-.m', 'LineWidth', 2)
    %hold on
    semilogy(thr norm db,afdx fm,'ok','MarkerSize',3)
    ylabel('Tr * fm', 'FontSize', 10)
    xlabel('\rho (dB)','FontSize',9)
    titulo=({'(c) Duração Média de Desvanecimento Normalizada'});
    title(titulo, 'FontSize',8);
    legend('Teórica - Rayleigh', 'Teórica - Rice', 'Teórica - Nakagami', ...
        'Medida', 'Location', 'southeast')
    hold off
    saveas(figure(1),['Desv Rapido Setor ',setor],'png');
    %%%saveas(figure(4),['figdsetor_',setor],'jpg');
    figure(60)
    subplot(3,2,1:2)
    bar(xout, n_pdf, 'c'); zoom on, grid on;
    %%plot(xout,n_pdf,'.m')
    hold on;
   plot(r,p1,'--g','LineWidth',2);
plot(r,p2,'-r','LineWidth',2);
plot(r,p3_fim,'-.b','LineWidth',2);
   plot(r,p4_fim,'-.y','LineWidth',2);
plot(r,p5_fim,'-.m','LineWidth',2);
    h = legend('fdp Empirica', 'Gauss', 'Rayleigh', ['Rice - k=', Valor kf], 2, ['Nakagami -
m=',Valor_Mf],2,...
        ['Alpha-mu - alpha=', Valor Af], 2, 'Location', 'northeast');
    set(h,'Interpreter','none');
    titulo=({['Valores finais calculados para o desvanecimento em pequena área - Setor
',setor,':'];...
    '(a) Comparação da fdp de Gauss, Rayleigh, Rice, Nakagami e \alpha-\mu'});
    title(titulo, 'FontSize', 12); xlabel('r [normalizado]', 'FontSize',9)
    ylabel('fdp', 'FontSize', 10)
    hold off
    subplot(3,2,[3 5])
    %%%figure
    semilogy(Ro db alfa,NR alfa,'-.m','LineWidth',2)
    axis([-25 5 10^-5 10^0.5]); % Limita os eixos
    zoom on,grid on
    hold on
    semilogy(thr_norm_db,lcf_fm,'ok','MarkerSize',3)
    ylabel('Nr / fm', 'FontSize', 10)
    xlabel('\rho* (dB)','FontSize',9)
    titulo=({'(d) Taxa de Cruzamento de Nível Normalizada'});
    title(titulo, 'FontSize',8);
    legend('Teórica - \alpha-\mu', 'Medida', 'Location', 'southeast')
    hold off
```

```
subplot(3,2,[4 6])
%%%figure
semilogy(Ro_db_alfa,AFD alfa,'-.m','LineWidth',2)
zoom on, grid on
semilogy(thr norm db,afdx fm,'ok','MarkerSize',3)
axis([-25 5 10^-5 10^0.5]); % Limita os eixos
ylabel('Tr * fm','FontSize',10)
xlabel('\rho* (dB)','FontSize',9)
titulo=({'(e) Duração Média de Desvanecimento Normalizada'});
title(titulo, 'FontSize',8);
legend('Teórica - \alpha-\mu','Medida','Location','southeast')
hold off
saveas(figure(60),['N T com alfa Setor ',setor],'png');
    %% Acumula os valores de todos os setores do trecho %
% Acumula valores das pequenas áreas do trecho
r_trecho=[r_trecho; r]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
n_trecho=[n_trecho;n];
xout trecho=[xout trecho; xout];
n_pdf_trecho=[n_pdf_trecho;n_pdf];
p1 trecho=[p1 trecho; p1]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
p2_trecho=[p2_trecho; p2]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
p3 rice trecho=[p3 rice trecho; p3 fim]; % Observar a retirada do pt e vg (;)
p4_nak_trecho=[p4_nak_trecho; p4_fim];
p5 alfa trecho=[p5 alfa trecho; p5 fim];
p1 qui trecho=[p1 qui trecho;p1 qui];
p2_qui_trecho=[p2_qui_trecho;p2_qui];
p3_rice_qui_trecho=[p3_rice_qui_trecho;p3_qui_fim];
p4_nak_qui_trecho=[p4_nak_qui_trecho;p4_qui_fim];
p5_alfa_qui_trecho=[p5_alfa_qui_trecho;p5_qui_fim];
h_gauss_trecho=[h_gauss_trecho; h_gauss];
p_gauss_trecho=[p_gauss_trecho; p_gauss];
st_gauss_trecho=[st_gauss_trecho; st_gauss];
st_gauss_df_trecho=[st_gauss_df_trecho; st_gauss_df];
qui_teste_gauss_trecho=[qui_teste_gauss_trecho; qui_teste_gauss];
x_qui_teste_gauss_trecho=[x_qui_teste_gauss_trecho; x_qui_teste_gauss];
h_ray_trecho=[h_ray_trecho; h_ray];
p_ray_trecho=[p_ray_trecho; p_ray];
st_ray_trecho=[st_ray_trecho; st_ray];
st_ray_df_trecho=[st_ray_df_trecho; st_ray_df];
qui_teste_ray_trecho=[qui_teste_ray_trecho; qui_teste_ray];
x_qui_teste_ray_trecho=[x_qui_teste_ray_trecho; x_qui_teste_ray];
sigma_rice_trecho=[sigma_rice_trecho; sigma_rice_fim];
k_rice_trecho=[k_rice_trecho;k_rice_fim];
r_zero_trecho=[r_zero_trecho;r_zero_fim];
h rice trecho=[h rice trecho;h rice fim];
p_rice_trecho=[p_rice_trecho;p_rice_fim];
st rice trecho=[st rice trecho;st rice fim];
st_rice_df_trecho=[st_rice_df_trecho;st_rice_df_fim];
qui_teste_rice_trecho=[qui_teste_rice_trecho;qui_teste_rice_fim];
x_qui_teste_rice_trecho=[x_qui_teste_rice_trecho;x_qui_teste_rice_fim];
%%%sigma_rice_trecho=[sigma_rice_trecho; sigma_rice_fim];
M_nak_trecho=[M_nak_trecho;M_nak_fim];
%%%r_zero_trecho=[r_zero_trecho;r_zero_fim];
h_nak_trecho=[h_nak_trecho;h_nak_fim];
p_nak_trecho=[p_nak_trecho;p_nak_fim];
st nak trecho=[st nak trecho;st nak fim];
st nak df trecho=[st nak df trecho;st nak df fim];
qui_teste_nak_trecho=[qui_teste_nak_trecho;qui_teste_nak_fim];
x_qui_teste_nak_trecho=[x_qui_teste_nak_trecho;x_qui_teste_nak_fim];
%%%sigma_rice_trecho=[sigma_rice_trecho; sigma_rice_fim];
alfa trecho=[alfa trecho;alfa fim];
%%%r_zero_trecho=[r_zero_trecho;r_zero_fim];
h_alfa_trecho=[h_alfa_trecho;h_alfa_fim];
p_alfa_trecho=[p_alfa_trecho;p_alfa_fim];
st_alfa_trecho=[st_alfa_trecho;st_alfa_fim];
st alfa df trecho=[st_alfa_df_trecho;st_alfa_df_fim];
qui_teste_alfa_trecho=[qui_teste_alfa_trecho;qui_teste_alfa_fim];
```

```
x qui teste alfa trecho=[x qui teste alfa trecho;x qui teste alfa fim];
end
% Salva arquivo com valores finais de todas as pequenas áreas
%%%arquivo_saida2=strcat('dados_pdf_teste_qui_Rota_Baker.mat');
arquivo saida2=strcat('Dados pdf teste qui final Rota1.mat');
nome_arq=strcat(arquivo_saida2);
save (nome arq,...
'ndBm trecho',...
'V_trecho',...
'r_trecho',...
'n trecho',...
'xout trecho',...
'n_pdf_trecho',...
'p1_trecho',...
'p2_trecho',...
'p3 rice trecho',...
'p4_nak_trecho',...
'p5_alfa_trecho',...
'p1_qui_trecho',...
'p2_qui_trecho',...
'p3_rice_qui_trecho',...
'p4_nak_qui_trecho',...
'p5_alfa_qui_trecho',...
'h_gauss_trecho',...
'p_gauss_trecho',...
'st_gauss_trecho',...
'st_gauss_df_trecho',...
'qui teste gauss trecho',...
'x_qui_teste_gauss_trecho',...
'h_ray_trecho',...
'p_ray_trecho',...
'st_ray_trecho',...
'st_ray_df_trecho',...
'qui teste ray trecho',...
'x_qui_teste_ray_trecho',...
'sigma_rice_trecho',...
'k_rice_trecho',...
'h_rice_trecho',...
'p_rice_trecho',...
'st_rice_trecho',...
'st_rice_df_trecho',...
'qui teste rice trecho',...
'x_qui_teste_rice_trecho',...
'M_nak_trecho',...
'h_nak_trecho',...
'p nak trecho',...
'st_nak_trecho',...
'st_nak_df_trecho',...
'qui_teste_nak_trecho',...
'x qui teste nak trecho',...
'alfa_trecho',...
'h_alfa_trecho',...
'p_alfa_trecho',...
'st_alfa_trecho',...
'st alfa df trecho',...
'qui teste alfa trecho',...
'x qui teste alfa trecho');
% Fim
8 ************
```

## Programa de análise dos modelos de cobertura

```
clear all; close all; clc;

% ---- Carregamento das medições -----
% qualquer medição utilizada deve ser um arquivo com duas colunas:
% A primeira coluna deve conter a potência recebida em cada ponto
% A segunda coluna deve conter a distância entre receptor e transmisssor em
% cada ponto em km
% As informações utilizadas dvem ser as mesmas utilizadas na medição
```

```
load pos setor ROTA1 100m
pos setor = pos setor ROTA1; % subtraindo o ganho LNA
pm = pos_setor(:,3); % potência medida em uma determinada distância
pin = pm-43;
dm = pos setor(:,2)/1000; % distância entre transmissor e receptor (km)
hte = 16; % Altura do transmissor no seutp de medição
hre = 2.85; % altura de recepção no setup de medição
hob = 7.5; % altura media das obstruções (construções + vegetação)
f = 5765; % frequencia da portadora em MHz
gt = 17; % ganho de transmissao no setup de medição em dB, ganho só antena
pt = 22.5; % potencia de transmissao na medição em dBm
gr = 10; % ganho de recepção no setup de medição em dB
ht = 16; %Altura da antena Transmissor em metros[m]
hr = 2.85; %Altura na antena Receptora[m]
CM = 0:
% ---- Calculo da perda -------
Lm = pt+gt -pin;%(pm-43); % Perda experimental
% ----- Configuração da simulação ------
lamb = (3e8)/(f*(10^6)); % comprimento de onda
s = 6.0390; % Parâmetro do modelo SUI
d = dm*1000; % vertor de distâncias com intervalos de 100 metros
dkm = dm; % Converte a distância para km (uso no modelo COST231-Hata)
% Novo UFPA Model -------
m k1u = 42.4948;
m k2u = 7.6852;
\bar{\text{fator}} = ((\text{hte+hre}).*\text{lamb})./(0.1*\text{hob});
K0 = m_k1u - m_k2u.*(fator);
k1u = 16.4154; % 15.8156;
k2u = 14.1878; % 26.2701;
L u = (k1u*log10(d)) + k2u*log10(f) + K0; % perda
Pr_u = pt + gt - L_u; % potencia recebida UFPA
% Modelo da Universidade de Stanford(SUI)--------------
%valores relacionados aos tipos de terreno
% A = 1 \rightarrow Montanhoso/densidade de árvores moderada ou alta
% B = 2 -> Montanhoso/densidade de árvores leve
         ou Plano/densidade de árvores moderada ou alta
% C = 3 \rightarrow Plano/densidade de árvores leve
k1s = 0;
k2s = 1;
tipo_de_terreno = 2;
if tipo de terreno == 1
   a = 4.6;
   b = 0.0075;
   c = 12.6;
elseif tipo_de_terreno == 2
   a = 4;
   b = 0.0065;
   c = 17.1;
else
   a = 3.6;
   b = 0.005;
   c = 20;
end
if tipo de terreno == 1 || tipo_de_terreno == 2
   xh = -10.8*log10 (hre/2);
else
   xh = -20*log10(hre/2);
xf = 6*log10(f/2000);
```

```
y = a - (b*hte) + (c/hte);
d0 = 100;
A mod = 20*log10((4*pi*d0)/lamb);
L s = k1s + 10*y*log10(d/d0) + xf + xh + s + A mod;
%Pr s = (pt+gt+gr) - L s; % potencia recebida SUI
Pr_s = pt + gt - L_s; % potencia recebida
§ ______
% Modelo COST231-Hata (foram corrigido as equacoes certo)------
k1c = 46.3;
k2c = 44.9;
k3 = -13.82;
k4 = -6.55;
k5 = 33.9;
ahm = ((1.1*log10(f) - 0.7)*hre) - ((1.56*log10(f)) - 0.8);
ambiente = 1; % 1 para urbano, 2 para suburbano e 3 para rural
if ambiente == 1
   amb = 0;
elseif ambiente == 2
   amb = 2*(log10(f/28))^2 + 5.4;
else
   amb = 4.78*(log10(f))^2 + (18.33*log10(f)) + 40.94;
end
L_c = k1c + (k2c*log10(dkm)) + k3*log10(hte) + k4*log10(hte)*...
   log10(dkm) + k5*log10(f) - ahm - amb;
%Pr c = (pt+gt+gr) - L c; % potencia recebida Cost------------------------------
Pr_c = pt+gt - L_c; % potencia recebida Cost
% Modelo Modificado até 6Ghz----Hata-cost231
Gt=20*log10(ht/200); %% ht > 10 m Gt, fator de ganho de Tx
                     %% hr < 3 m
                                     Gr, fator de ganho de Rx
Gr = 10*log10(hr/3);
% ---- Calculo da perda medida ------
Lo =32.44 + 20*log10(dkm) + 20*log10(f);%% f=freq em MHz, d=distancia em Km
%%%%%%%Para cidade média ou pequena:
  a hr = [1.1*log10(f) - 0.7].*hr - [1.56*log10(f) - 0.8]; %f[MHz]
%% 1) Atenuação media Urbana: Amu [dBm]
X = [44.9 - 6.55*log10(ht)].*log10(d) + CM; %%CM(dB), ht(m), d(Km)..obs está en d paso a dkm
Amu = (46.3 + 33.9*log10(f) - 13.82*log10(ht) - a hr) + X; %%f[MHz]
Amu = 46.3 -a_hr + X + 33.9*log10(1000*f);
%% 2) Atenuação média suburbana: Ams (em dB)
Ams= Amu - 2*[log10(f/28)].^2 - 5.4;
                                     888f[Mhz]
%%3) Atenuação média rural : Amr (em dB)
Amr = Amu - 4.78*[log10(f)].^2 - 18.33*[log10(f)] - 40.94; %Perda %%f em Mhz
%%Calculo da potencia recebida
%Pr o = (pt+gt+gr)-Lo; % potencia recebida okumura-Aqui colocar por tipo de cidade, Ams ou Amr
Pr_o = pt + gt - Lo;
% Plot dos resultados (eixo Linear)-----
plot(dkm,L u,'b','linewidth',1); hold on;
plot(dkm,L_s,'r','linewidth',1);
plot(dkm,L_c,'k','linewidth',1);
plot(dkm,Lo,'g','linewidth',1); hold on;%Ams mudou por Lo
plot(dm, Lm, '+y', 'linewidth', 2); % aqui dkm no cumple
arid on:
.
*title(['Comparaçao da Perda com a Distância entre os Modelos na Rotal-Suburbano'])
xlabel('distancia (km)','fontsize',14);
ylabel('Perda (dB)','fontsize',14);
legend('SUI-mod UFPA', 'SUI', 'Cost-231 Hata', 'Espaço livre', 'Dados experimentais');
```

```
%legend('Modelo UFPA','Modelo SUI','Modelo COST231-Hata','Modelo Okumura','Pontos Medidos na
Rota1');
figure
plot(dkm,Pr_u,'b','linewidth',1); hold on;
plot(dkm,Pr_s,'r','linewidth',1);
plot(dkm,Pr_c,'k','linewidth',1);
plot(dkm,Pr_o,'g','linewidth',1); hold on;
plot(dkm,pin,'+y','linewidth',2);
grid on;
%title(['Comparaçao da potencia recebida entre Modelos na Rotal-Suburbano'])
xlabel('distancia (km)','fontsize',14);
ylabel('Potencia recebida (dBm)','fontsize',14);
legend('SUI-mod UFPA','SUI','Cost-231 Hata','Espaço livre','Dados experimentais');
erro medio Lc = mean(Lm - L c);
erro_medio_Ls = mean(Lm - L_s);
erro_medio_Lu = mean(Lm - L_u);
erro medio Lo = mean(Lm - Lo);
N = length(I.m):
sigma_Lc = sqrt(1/(N-1)*sum((Lm - L_c - erro_medio_Lc).^2));
sigma Lo = sqrt(1/(N-1)*sum((Lm - Lo - erro medio Lo).^2));
erroRMS Lc = sqrt(erro medio Lc^2 + sigma Lc^2);
erroRMS_Ls = sqrt(erro_medio_Ls^2 + sigma_Ls^2);
erroRMS_Lu = sqrt(erro_medio_Lu^2 + sigma_Lu^2);
erroRMS Lo = sqrt(erro medio Lo^2 + sigma Lo^2);
erros(1,1) = erro medio Lu;
erros(1,2) = sigma Lu;
erros(1,3) = erroRMS Lu;
erros(2,1) = erro_medio Ls;
erros(2,2) = sigma Ls;
erros(2,3) = erroRMS Ls;
erros(3,1) = erro medio Lc;
erros(3,2) = sigma Lc;
erros(3,3) = erroRMS Lc;
erros(4,1) = erro medio Lo;
erros(4,2) = sigma Lo;
erros(4,3) = erroRMS Lo;
%%SAIDA
erros_rotax = erros;
xlswrite('erros rotal.xlsx', erros rotax)
save('erros rotal','erros rotax')
```

### Programa que gera tabela comparativa da análise em pequena escala

```
'r trecho',...
'n trecho',...
'xout trecho',...
'n_pdf_trecho',...
'p1_trecho',...
'p2 trecho',...
'p3_rice_trecho',...
'p4 nak trecho',...
'p5_alfa_trecho',...
'p1_qui_trecho',...
'p2_qui_trecho',...
'p3_rice_qui_trecho',...
'p4_nak_qui_trecho',...
'p5 alfa qui trecho',...
'h_gauss_trecho',...
'p_gauss_trecho',...
'st_gauss_trecho',...
'st_gauss_df_trecho',...
'qui teste gauss trecho',...
'x_qui_teste_gauss_trecho',...
'h_ray_trecho',...
'p_ray_trecho',...
'st_ray_trecho',...
'st_ray_df_trecho',...
'qui_teste_ray_trecho',...
'x_qui_teste_ray_trecho',...
'sigma_rice_trecho',...
'k_rice_trecho',...
'h_rice_trecho',...
'p_rice_trecho',...
'st_rice_trecho',...
'st rice df trecho',...
'qui_teste_rice_trecho',...
'x_qui_teste_rice_trecho',...
'M_nak_trecho',...
'h_nak_trecho',...
'p nak trecho',...
'st_nak_trecho',...
'st_nak_df_trecho',...
'qui_teste_nak_trecho',...
'x_qui_teste_nak_trecho',...
'alfa trecho',...
'h_alfa_trecho',...
'p_alfa_trecho',...
'st_alfa_trecho',...
'st_alfa_df_trecho',...
'qui_teste_alfa_trecho',...
'x_qui_teste_alfa_trecho');
rt=1; %numero da Rota
% Processamento dos dados
compara_qui=[qui_teste_gauss_trecho qui_teste_ray_trecho qui_teste_rice_trecho
qui teste nak trecho qui teste alfa trecho];
compara_h=[h_gauss_trecho h_ray_trecho h_rice_trecho h_nak_trecho h_alfa trecho];
% Encontra menor e maior valor do teste Qui que passou no teste
8 -----
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Gauss passou
ind_passou_qui_gauss=find(h_gauss_trecho==0); % todos Gauss que passaram
[min val passou qui gauss ind min gauss]=min(qui teste gauss trecho(ind passou qui gauss));
[max_val_passou_qui_gauss ind_max_gauss]=max(qui_teste_gauss_trecho(ind_passou_qui_gauss));
ind_min_gauss=ind_passou_qui_gauss(ind_min_gauss);
ind_max_gauss=ind_passou_qui_gauss(ind_max_gauss);
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Rayleigh passou
ind_passou_qui_ray=find(h ray trecho==0); % todos Ray que passaram
[min_val_passou_qui_ray ind min_ray]=min(qui_teste_ray_trecho(ind_passou_qui_ray));
[max_val_passou_qui_ray ind_max_ray]=max(qui_teste_ray_trecho(ind_passou_qui_ray));
ind_min_ray=ind_passou_qui_ray(ind_min_ray);
ind_max_ray=ind_passou_qui_ray(ind_max_ray);
```

```
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Rice passou
ind passou qui rice=find(h rice trecho==0); % todos Rice que pagaussssaram
[min val passou_qui_rice ind_min_rice] = min(qui_teste_rice_trecho(ind_passou_qui_rice));
[max_val_passou_qui_rice ind_max_rice]=max(qui_teste_rice_trecho(ind_passou_qui_rice));
ind_min_rice=ind_passou_qui_rice(ind_min_rice);
ind max rice=ind passou qui rice (ind max rice);
% Quantidade de vezes que uma fdp passou no teste e apresentou menor valor
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Nakagami passou
ind_passou_qui_nak=find(h_nak_trecho==0); % todos Nakagami que pagaussssaram
[min val passou_qui_nak ind_min_nak]=min(qui_teste_nak_trecho(ind_passou_qui_nak));
[max val passou qui nak ind max nak] = max (qui teste nak trecho (ind passou qui nak));
ind min nak=ind passou qui nak(ind min nak);
ind_max_nak=ind_passou_qui_nak(ind_max_nak);
% Posição e valor do menor e maior teste QUI com que Alfa-Mi passou
ind passou qui alfa=find(h alfa trecho==0); % todos Rice que pagaussssaram
[min_val_passou_qui_alfa ind_min_alfa]=min(qui_teste_alfa_trecho(ind_passou_qui_alfa));
[max_val_passou_qui_alfa ind_max_alfa]=max(qui_teste_alfa_trecho(ind_passou_qui_alfa));
ind min alfa=ind passou qui alfa(ind min alfa);
ind_max_alfa=ind_passou_qui_alfa(ind_max_alfa);
% Quantidade de vezes que uma fdp passou no teste e apresentou menor valor
% de Qui
[row_menor_qui_gauss,col_menor_qui_gauss] = find(compara_qui(:,1)<=compara_qui(:,2) &...</pre>
compara qui(:,1) <= compara qui(:,3) &...
compara qui(:,1) <= compara qui(:,4) &...
compara_qui(:,1) <= compara_qui(:,5) &...</pre>
compara h(:,1) == 0);
[row_menor_qui_ray,col_menor_qui_ray] = find(compara_qui(:,2)<=compara_qui(:,1) &...
compara_qui(:,2) <= compara_qui(:,3) &...</pre>
compara_qui(:,2)<=compara_qui(:,4) &...</pre>
compara qui(:,2) <= compara qui(:,5) &...
compara h(:,2) == 0;
[row_menor_qui_rice,col_menor_qui_rice] = find(compara_qui(:,3)<=compara_qui(:,2) &...
compara_qui(:,3)<=compara_qui(:,1) &...</pre>
compara qui(:,3) <= compara qui(:,4) &...
compara_qui(:,3)<=compara_qui(:,5) &...</pre>
compara_h(:,3) == 0);
[row menor qui nak,col menor qui nak] = find(compara qui(:,4)<=compara qui(:,1) &...
compara qui(:,4)<=compara_qui(:,2) &...
compara_qui(:,4)<=compara_qui(:,3) &...</pre>
compara_qui(:,4)<=compara_qui(:,5) &...</pre>
compara h(:, 4) == 0);
[row_menor_qui_alfa,col_menor_qui_alfa] = find(compara_qui(:,5)<=compara_qui(:,1) &...</pre>
compara_qui(:,5)<=compara_qui(:,2) &...</pre>
compara qui(:,5)<=compara qui(:,3) &...</pre>
compara_qui(:,5)<=compara_qui(:,4) &...
compara h(:,5)==0);</pre>
% Total de setores no trecho
                   fprintf('Rota: %1.0f \t | Quantidade total setores na rota: %1.0f\n',...
rt,length(qui_teste_rice_trecho));
disp('-----')
disp('Quant. de vezes que a fdp passou no teste QUI: Gauss Ray Rice Nak Alpha-mu')
% disp('-----')
disp(['Total fdp que passou no teste Qui (95%): ' ,...
num2str(length(ind_passou_qui_gauss)),' ',...
num2str(length(ind passou qui ray)),' ',...
num2str(length(ind_passou_qui_ray)),'
num2str(length(ind_passou_qui_rice)),'
num2str(length(ind_passou_qui_nak)),'
num2str(length(ind_passou_qui_nak)),'
disp('----
% disp(' ')
disp('Quantidade de vezes que a fdp passou no teste Qui com menor valor')
                                    Gauss Ray Rice Nak Alpha-mu')
% disp('------
```

```
% disp(' ')
\mbox{\%} Valor de k de Rice para menor e maior QUI que passou no teste
k rice min qui=k rice trecho(ind min rice);
k_rice_max_qui=k_rice_trecho(ind_max_rice);
% Valor de m de Nakagami para menor e maior QUI que passou no teste
M nak min qui=M nak trecho(ind min nak);
M nak max qui=M nak trecho(ind max nak);
\mbox{\ensuremath{\$}} Valor de alfa de Alfa-Mi para menor e maior QUI que passou no teste
alfa min qui=alfa trecho(ind min alfa);
alfa max qui=alfa trecho(ind max alfa);
% Valor de QUI que passou no teste para menor valor de K de Rice
ind_passou_k\_rice=find(h\_rice\_trecho==0); % todos Rice que passaram
[min k rice ind min k rice] = min(k rice trecho(ind passou k rice)); %
[max k rice ind max k rice] = max(k rice trecho(ind passou k rice)); %
qui_rice_min_k=qui_teste_rice_trecho(ind_min_k_rice);
qui_rice_max_k=qui_teste_rice_trecho(ind_max_k_rice);
% Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste
disp('-----')
disp('Maior e menor valor de K e QUI que passou no teste')
disp('-----')
fprintf('Menor valor de K: %6.2f para QUI: %6.2f\n', min k rice, qui rice min k);
fprintf('Maior valor de K: %6.2f para QUI: %6.2f\n', max k rice, qui rice max k);
fprintf('Valor\ de\ K:\ \%6.2f\ para\ menor\ QUI:\ \%6.2f\ n',\ k\_rice\_min\_qui,\ min\_val\_passou\_qui\_rice);
fprintf('Valor de K: %6.2f para maior QUI: %6.2f\n', k_rice_max_qui, max_val_passou_qui_rice);
fprintf('Valor de K da fdp de Rice: mínimo médio máximo\n')
fprintf('
                                 %6.2f %6.2f %6.2f\n',...
min(k_rice_trecho), mean(k_rice_trecho), max(k_rice_trecho));
% Valor de QUI que passou no teste para menor valor de m de Nakagami
ind_passou_M_nak=find(h_nak_trecho==0); % todos Nakagami que passaram
[min_M_nak ind_min_M_nak] = min(M_nak_trecho(ind_passou_M_nak)); %
[max M nak ind max M nak] = max(M nak trecho(ind passou M nak)); %
qui nak min M=qui teste nak trecho(ind min M nak);
qui_nak_max_M=qui_teste_nak_trecho(ind_max_M_nak);
% Maior e menor valor de m e QUI que passou no teste
disp('-----
disp('Maior e menor valor de m e QUI que passou no teste')
fprintf('Menor valor de m:%6.2f para QUI: %6.2f\n', min_M_nak, qui_nak_min_M);
fprintf('Maior valor de m:%6.2f para QUI: %6.2f\n', max_M_nak, qui_nak_max_M);
fprintf('Valor de m:%6.2f para menor QUI:%6.2f\n',M nak min qui, min val passou qui nak);
fprintf('Valor de m:%6.2f para maior QUI:%6.2f\n',M nak max qui, max val passou qui nak);
disp('-----')
\texttt{fprintf('Valor} \ \texttt{de} \ \texttt{m} \ \texttt{da} \ \texttt{fdp} \ \texttt{de} \ \texttt{Nakagami:} \ \texttt{minimo} \ \texttt{m\'edio} \ \texttt{m\'aximo} \texttt{'n')}
                                     %6.2f %6.2f %6.2f\n',...
min(M nak trecho), mean(M nak trecho), max(M nak trecho));
% Valor de QUI que passou no teste para menor valor de alfa de alfa-Mi
ind_passou_alfa=find(h_alfa_trecho==0); % todos Rice que passaram
[min alfa ind min alfa] = min(alfa trecho(ind passou alfa)); %
[max alfa ind max alfa] = max(alfa trecho(ind passou alfa)); %
qui_alfa_min_A=qui_teste_alfa_trecho(ind_min_alfa);
qui_alfa_max_A=qui_teste_alfa_trecho(ind_max_alfa);
% Maior e menor valor de alfa e QUI que passou no teste
disp('-----')
disp('Maior e menor valor de alpha e QUI que passou no teste')
disp('----
fprintf('Menor valor de alpha: %6.2f para QUI: %6.2f\n',min_alfa, qui_alfa_min_A);
fprintf('Maior valor de alpha: %6.2f para QUI: %6.2f\n',max_alfa, qui_alfa_max_A);
disp('----')
fprintf('Valor de alpha:%6.2f para menor QUI: %6.2f\n', alfa min qui,
min_val_passou_qui_alfa);
```

```
fprintf('Valor de alpha:%6.2f para maior QUI: %6.2f\n', alfa max qui,
max val passou qui alfa);
disp('-----
fprintf('Valor de alpha da fdp de Alpha-mu: mínimo médio máximo\n')
 fprintf('
                                                                                                                        %6.2f%6.2f %6.2f\n',...
min(alfa trecho), mean(alfa trecho), max(alfa trecho));
응용
% Menor e maior valor de Qui para cada fdp
disp('-----')
fprintf('Menor e maior valor de Qui para cada fdp: Gauss\t Ray Rice Nak
                                                                                                                                                                                                                                           Alpha-
mu\n')
                                                                                                                                            %6.2f %6.2f\t %6.2f\t
fprintf('Menor OUI:
%6.2f\t\n',...
min_val_passou_qui_gauss,min_val_passou_qui_ray,min_val_passou_qui_rice,...
min val passou qui nak, min val passou qui alfa);
fprintf('Maior QUI:
                                                                                                                                            %6.2f %6.2f\t %6.2f\t
 %6.2f\t\n',...
max_val_passou_qui_gauss,max_val_passou_qui_ray,max_val_passou_qui_rice,...
max val passou qui nak, max val passou qui alfa);
% Encontra posições onde nenhum teste passou [row_nenhum,col_nenhum] = find(compara_h(:,1)==1 & compara_h(:,2)==1 & compara_h(:,3)==1 &
compara_h(:,4) == 1 & compara_h(:,5) == 1);
 % Encontra posições onde todos passaram
 [row\_todos,col\_todos] = find(compara\_h(:,1) == 0 & compara\_h(:,2) == 0 & compara\_h(:,3) == 0 & compara\_h(:,3
compara_h(:,4)==0 & compara_h(:,5)==0);
 % Encontra posições onde somente Gauss passou
 [row so gauss,col so gauss] = find(compara h(:,1)==0 & compara h(:,2)==1 & compara h(:,3)==1
 & compara h(:,4)==1 & compara h(:,5)==1);
 % Encontra posições onde somente Rayleigh passou
 [row\_so\_ray,col\_so\_ray] = find(compara\_h(:,1) == 1 & compara\_h(:,2) == 0 & compara\_h(:,3) == 1 & compara\_h(:
compara h(:,4) == 1 \& compara h(:,5) == 1);
 % Encontra posições onde somente Rice passou
 [row_so_rice,col_so_rice] = find(compara_h(:,1) == 1 & compara h(:,2) == 1 & compara h(:,3) == 0 &
compara_h(:,4) ==1 & compara_h(:,5) ==1);
 % Encontra posições onde somente Nakagami passou
 [row so nak,col so nak] = find(compara h(:,1)==1 & compara h(:,2)==1 & compara h(:,3)==1 &
compara h(:,4) == 0 \& compara h(:,5) == 1);
 % Encontra posições onde somente Alfa-Mi passou
 [row\_so\_alfa,col\_so\_alfa] = find(compara\_h(:,1) == 1 \& compara h(:,2) == 1 \& compara h(:,3) == 1 \& compara h(:,3) == 1 & compara h
compara h(:,4) == 1 & compara h(:,5) == 0);
% Quantidade que somente um passou
disp('----')
disp('Qualidade de ajuste pelo teste Qui para cada fdp: Gauss Ray Rice Nak Alpha-mu')
 % disp('-----')
disp(['Passou exclusivamente:
                                                                                                                                                                   ',...
num2str(length(col_so_gauss)),'
num2str(length(col_so_ray)),'
num2str(length(col_so_rice)),'
                                                                                              ',...
                                                                                                  ',...
',...
num2str(length(col_so_nak)),'
num2str(length(col_so_alfa))]);
disp(['Nenhuma fdp passou:
                                                                                                                                                                       ',...
num2str(length(col_nenhum)),'
num2str(length(col_nenhum)),'
                                                                                             ',...
',...
num2str(length(col_nenhum)),'
num2str(length(col_nenhum)),'
num2str(length(col nenhum))]);
disp(['Todas passaram ao mesmo tempo:
                                                                                                                                                                      ',...
                                                                                          ',...
',...
num2str(length(col_todos)),'
num2str(length(col_todos)),'
num2str(length(col_todos)),'
num2str(length(col_todos)),'
                                                                                          ',...
                                                                                                `',...
num2str(length(col_todos))]);
%%
 %%% Geração da tabela com os valores do teste Qui para cada setor %%%
 88 -----
disp('
                                                                                                                                                                                                                        ')
disp('Valores do teste Qui em cada setor para cada fdp: Gauss Ray Rice Nak
                                                                                                                                                                                                                                         Alpha-mu')
```

```
disp('Setor QUI Gauss
                                QUI Ray QUI Rice k QUI Nak m
                                                                                         QUI Alpha-mu
alpha')
Sequencia=length(qui teste gauss trecho);
Seq=zeros(1,Sequencia+1);
Seq = 1:Sequencia;
Seq2=Seq';
for i = 1:Sequencia
     d=compara h;
     if(d(i,1) == 1)
                 qui_teste_gauss_trecho(i)=0/0;
                else
       qui_teste_gauss_trecho(i) = qui_teste_gauss_trecho(i);
     end
     if(d(i,2) == 1)
         qui_teste_ray_trecho(i)=0/0;
          qui_teste_ray_trecho(i) = qui_teste_ray_trecho(i);
    end
    if(d(i,3)==1)
         qui_teste_rice_trecho(i)=0/0';
     else
          qui_teste_rice_trecho(i) = qui_teste_rice_trecho(i);
    end
     if(d(i,4) == 1)
         qui_teste_nak_trecho(i)=0/0';
     else
          qui_teste_nak_trecho(i) = qui_teste_nak_trecho(i);
     end
      if(d(i,5)==1)
         qui_teste_alfa_trecho(i)=0/0';
     else
          qui_teste_alfa_trecho(i) = qui_teste_alfa_trecho(i);
                             %6.2f
                                           %6.2f
                                                          %d
                                                                  %6.2f
                                                                               %d %6.2f
     %%%fprintf('%d
%6.2f\n',..
     fprintf(' %d
                             %2.2f %6.2f %2.2f %6.1f %2.2f %6.1f
                                                                                                          %2.2f
%6.1f\n',...
     Seg2(i),...
     {\tt qui\_teste\_gauss\_trecho(i), \dots}
     qui_teste_ray_trecho(i),...
     qui teste rice trecho(i), k rice trecho(i),...
     qui teste nak trecho(i), M nak trecho(i),...
     qui_teste_alfa_trecho(i),alfa_trecho(i));
end
disp('Obs.: NaN - Indica que a fdp não passou no teste Qui-quadrado para o setor')
figure(1)
subplot(2,1,1)
bar(xout trecho(ind min rice,:), n pdf trecho(ind min rice,:),'w')
hold on
grid on
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p4_nak_trecho(ind_min_rice,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p5_alfa_trecho(ind_min_rice,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p3_rice_trecho(ind_min_rice,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p1_trecho(ind_min_rice,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p2_trecho(ind_min_rice,:),'--r','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p2_trecho(ind_min_rice,:),'--r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';... ['(e) Menor Qui para Rice - Setor: 'num2str(ind_min_rice) ...
' e Fator K=' num2str(k_rice_trecho(ind_min_rice))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Nakagami', '\alpha-\mu', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh', 'Location', 'northeast');
hold off
```

```
% Desenha fdp onde RICE passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
%plot(xout trecho(ind max rice,:),n pdf trecho(ind max rice,:),'dm','MarkerSize',8)
bar(xout_trecho(ind_max_rice,:),n_pdf_trecho(ind_max_rice,:),'w')
hold on
arid on
plot(r_trecho(ind_max_rice,:),p4_nak_trecho(ind_max_rice,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_rice,:),p5_alfa_trecho(ind_max_rice,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_rice,:),p3_rice_trecho(ind_max_rice,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_rice,:),p1_trecho(ind_max_rice,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_rice,:),p2_trecho(ind_max_rice,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(f) Maior Qui para Rice - Setor: ' num2str(ind max rice) ...
' e Fator K=' num2str(k_rice_trecho(ind_max_rice))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold'); legend('Empírico', 'Nakagami', '\alpha-\mu', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh', 'Location', 'northeast');
hold off
saveas(figure(1),['melhor setor Rice ',num2str(ind min rice)],'png');
% Desenha fdp onde RICE passou com menor Qui
figure(10)
bar(xout trecho(ind min rice,:), n pdf trecho(ind min rice,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind min rice,:),p4 nak trecho(ind min rice,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p5_alfa_trecho(ind_min_rice,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p3_rice_trecho(ind_min_rice,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p1_trecho(ind_min_rice,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_rice,:),p2_trecho(ind_min_rice,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';... ['(c) Menor Qui para Rice - Setor: 'num2str(ind_min_rice) ...
'e Fator K=' num2str(k rice trecho(ind min rice))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Nakagami', '\alpha-\mu', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh', 'Location', 'northeast');
hold off
saveas(figure(10),['melhor_setor_Rice_u_',num2str(ind_min_rice)],'png');
§ -----
% Desenha fdp onde Rayleigh passou com menor Qui
figure(2)
subplot(2.1.1)
bar(xout_trecho(ind_min_ray,:),n_pdf_trecho(ind_min_ray,:),'w')
hold on
arid on
\verb|plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p4_nak_trecho(ind_min_ray,:),'-y','\\ \verb|LineWidth',2||
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p5_alfa_trecho(ind_min_ray,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p3_rice_trecho(ind_min_ray,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),pl_trecho(ind_min_ray,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),pl_trecho(ind_min_ray,:),'--r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';...
['(c) Menor Qui para Rayleigh - Setor: ' num2str(ind min ray)]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Nakagami', '\alpha-\mu', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh', 'Location', 'northeast');
hold off
% Desenha fdp onde Rayleigh passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
bar(xout_trecho(ind_max_ray,:),n_pdf_trecho(ind_max_ray,:),'w')
hold on
arid on
plot(r trecho(ind max ray,:),p4 nak trecho(ind max ray,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_ray,:),p5_alfa_trecho(ind_max_ray,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_ray,:),p3_rice_trecho(ind_max_ray,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_ray,:),p1_trecho(ind_max_ray,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_ray,:),p2_trecho(ind_max_ray,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
```

```
titulo=({['(d) Maior Qui para Rayleigh - Setor: ' num2str(ind max ray)]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
saveas(figure(2),['melhor setor Ray ',num2str(ind min ray)],'png');
% Desenha fdp onde Rayleigh passou com menor Qui
bar(xout_trecho(ind_min_ray,:),n_pdf_trecho(ind_min_ray,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind min ray,:),p4 nak trecho(ind min ray,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p5_alfa_trecho(ind_min_ray,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p3_rice_trecho(ind_min_ray,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p1_trecho(ind_min_ray,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_ray,:),p2_trecho(ind_min_ray,:),'--r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';...
['(b) Menor Qui para Rayleigh - Setor: ' num2str(ind_min_ray)]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
saveas(figure(20),['melhor_setor_Ray_u_',num2str(ind_min_ray)],'png');
% Desenha fdp onde Gauss passou com menor Qui
figure(3)
subplot(2,1,1)
bar(xout_trecho(ind_min_gauss,:),n_pdf_trecho(ind min gauss,:),'w')
hold on
grid on
plot(r trecho(ind min gauss,:),p4 nak trecho(ind min gauss,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p5_alfa_trecho(ind_min_gauss,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p3_rice_trecho(ind_min_gauss,:),'-b','LineWidth',2)
\verb|plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p1_trecho(ind_min_gauss,:),'--g',' \\ \verb|LineWidth',2||
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p2_trecho(ind_min_gauss,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';... ['(a) Menor Qui para Gauss - Setor: 'num2str(ind_min_gauss)]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
% Desenha fdp onde Gauss passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
bar(xout trecho(ind max gauss,:),n pdf trecho(ind max gauss,:),'w')
hold on
grid on
plot(r_trecho(ind_max_gauss,:),p4_nak_trecho(ind_max_gauss,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_gauss,:),p5_alfa_trecho(ind_max_gauss,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r trecho(ind max gauss,:),p3 rice trecho(ind max gauss,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_gauss,:),p1_trecho(ind_max_gauss,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_gauss,:),p2_trecho(ind_max_gauss,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(b) Maior Qui para Gauss - Setor: ' num2str(ind_max_gauss)]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Nakagami', '\alpha-\mu', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh', 'Location', 'northeast');
saveas(figure(3),['melhor setor Gauss ',num2str(ind min gauss)],'png');
% Desenha fdp onde Gauss passou com menor Qui
figure (30)
bar(xout trecho(ind min gauss,:),n pdf trecho(ind min gauss,:),'w')
hold on
grid on
\verb|plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p4_nak_trecho(ind_min_gauss,:),'-y',' \\ \verb|LineWidth',2||
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p5_alfa_trecho(ind_min_gauss,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p3_rice_trecho(ind_min_gauss,:),'-b','LineWidth',2)
```

```
plot(r trecho(ind min gauss,:),pl trecho(ind min gauss,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_gauss,:),p2_trecho(ind_min_gauss,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';... ['(a) Menor Qui para Gauss - Setor: 'num2str(ind_min_gauss)]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
saveas(figure(30),['melhor setor Gauss u ',num2str(ind min gauss)],'png');
% Desenha fdp onde NAKAGAMI passou com menor Qui
figure(4)
subplot(2,1,1)
bar(xout_trecho(ind_min_nak,:),n_pdf_trecho(ind_min_nak,:),'w')
hold on
arid on
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p4_nak_trecho(ind_min_nak,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p5_alfa_trecho(ind_min_nak,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p3_rice_trecho(ind_min_nak,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p1_trecho(ind_min_nak,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p2_trecho(ind_min_nak,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';...
['(g) Menor Qui para Nakagami - Setor: ' num2str(ind min nak) ...
' e Fator m= ' num2str(M nak trecho(ind_min_nak))]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
% Desenha fdp onde Nakagami passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
bar(xout_trecho(ind_max_nak,:),n_pdf_trecho(ind_max_nak,:),'w')
hold on
arid on
plot(r trecho(ind max nak,:),p4 nak trecho(ind max nak,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_nak,:),p5_alfa_trecho(ind_max_nak,:),'-m','LineWidth',2)
plot(I_trecho(ind_max_nak,:),p3_arra_trecho(ind_max_nak,:), 'm', binewidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_nak,:),p3_rrice_trecho(ind_max_nak,:),'-b','Linewidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_nak,:),p1_trecho(ind_max_nak,:),'--g','Linewidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_nak,:),p2_trecho(ind_max_nak,:),'-.r','Linewidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(h) Maior Qui para Nakagami - Setor: ' num2str(ind max nak) ...
' e Fator m=' num2str(M nak trecho(ind max nak))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico', 'Nakagami', '\alpha-\mu', 'Rice', 'Gauss', 'Rayleigh', 'Location', 'northeast');
hold off
saveas(figure(4),['melhor setor Nakagami ',num2str(ind min nak)],'png');
bar(xout trecho(ind min nak,:),n pdf trecho(ind min nak,:),'w')
hold on
grid on
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p4_nak_trecho(ind_min_nak,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p5_alfa_trecho(ind_min_nak,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p3_rice_trecho(ind_min_nak,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p1_trecho(ind_min_nak,:),'-g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p2_trecho(ind_min_nak,:),'-.r','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_nak,:),p2_trecho(ind_min_nak,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';...
['(d) Menor Qui para Nakagami - Setor: ' num2str(ind min nak) ...
' e Fator m=' num2str(M nak trecho(ind min nak))]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
saveas(figure(40),['melhor setor Nakagami u ',num2str(ind min nak)],'png');
```

```
% Desenha fdp onde ALFA-MI passou com menor Qui
figure (5)
subplot(2,1,1)
bar(xout trecho(ind min alfa,:), n pdf trecho(ind min alfa,:),'w')
hold on
grid on
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p4_nak_trecho(ind_min_alfa,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p5_alfa_trecho(ind_min_alfa,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p3_rice_trecho(ind_min_alfa,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p1_trecho(ind_min_alfa,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p2_trecho(ind_min_alfa,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';...
['(i) Menor Qui para \alpha-\mu - Setor: 'num2str(ind_min_alfa) ...
'e Fator \alpha=' num2str(alfa_trecho(ind_min_alfa))]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
% Desenha fdp ondeAlpha-mi passou com maior Qui
subplot(2,1,2)
bar(xout_trecho(ind_max_alfa,:),n_pdf_trecho(ind_max_alfa,:),'w')
hold on
arid on
plot(r_trecho(ind_max_alfa,:),p4_nak_trecho(ind_max_alfa,:),'-y','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_alfa,:),p5_alfa_trecho(ind_max_alfa,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_alfa,:),p3_rice_trecho(ind_max_alfa,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_alfa,:),ps_free_trecho(ind_max_alfa,:),'--g', lineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_alfa,:),pl_trecho(ind_max_alfa,:),'--r','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_max_alfa,:),p2_trecho(ind_max_alfa,:),'--r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
titulo=({['(j) Maior Qui para \alpha-\mu - Setor: 'num2str(ind_max_alfa) ...
'e Fator \alpha=' num2str(alfa_trecho(ind_max_alfa))]});
title(titulo, 'FontSize', 10,'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
saveas(figure(5),['melhor_setor_alfa_mi_',num2str(ind min alfa)],'png');
figure (50)
bar(xout trecho(ind min alfa,:), n pdf trecho(ind min alfa,:),'w')
hold on
arid on
\verb|plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p4_nak_trecho(ind_min_alfa,:),'-y',' LineWidth',2)|
plot(r trecho(ind min alfa,:),p5 alfa trecho(ind min alfa,:),'-m','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p3_rice_trecho(ind_min_alfa,:),'-b','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p1_trecho(ind_min_alfa,:),'--g','LineWidth',2)
plot(r_trecho(ind_min_alfa,:),p2_trecho(ind_min_alfa,:),'-.r','LineWidth',2)
xlabel('r [normalizado]', 'FontSize', 12,'FontWeight', 'bold')
ylabel('fdp', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
titulo=({'Comparação da fdp de Rice, Gauss, Rayleigh, Nakagami-m e \alpha-\mu:';... ['(e) Menor Qui para \alpha-\mu - Setor: 'num2str(ind min alfa) ...
' e Fator \alpha=' num2str(alfa_trecho(ind_min_alfa))]});
title(titulo, 'FontSize', 10, 'FontWeight', 'bold');
legend('Empírico','Nakagami','\alpha-\mu','Rice', 'Gauss','Rayleigh','Location','northeast');
hold off
 saveas(figure(50),['melhor setor alfa mi u ',num2str(ind min alfa)],'png');
% Fim
       *************
```