

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ADONIRAN JUDSON DE BARROS BRAGA

ANÁLISE TEÓRICA DE CANAL UHF
EM UMA RUA URBANA

DM - 09/2002

UFPA / CT / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
66.075-900 – BELÉM – PARÁ – BRASIL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ADONIRAN JUDSON DE BARROS BRAGA

ANÁLISE TEÓRICA DE CANAL UHF
EM UMA RUA URBANA

Dissertação de Mestrado submetida à
Banca Examinadora do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Elétrica.

UFPA / CT / PPGEE

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ

66.075-900 – BELÉM – PARÁ – BRASIL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CENTRO TECNOLÓGICO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANÁLISE TEÓRICA DE CANAL UHF EM UMA RUA URBANA

AUTOR: ADONIRAN JUDSON DE BARROS BRAGA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À AVALIAÇÃO DA BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ E JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE TELECOMUNICAÇÕES.

APROVADA EM: 27/02/2002

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Tit. Dr. Gervásio Protásio dos S. Cavalcante (UFPA)
(Orientador)

Prof. Dr. João Crisóstomo W. Albuquerque da Costa (UFPA)
(Membro)

Prof. Dr. Victor Dmitriev (UFPA)
(Membro)

Prof. Dr. José Ricardo Descardecí (UFPR)
(Membro Externo)

VISTO:

Prof. Dr. Roberto Célio Limão de Oliveira (UFPA)
(Coordenador do PPGEE/CT/UFPA)

**UFPA / CT / PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
BELÉM – PARÁ – BRASIL**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais, Edilson e Lídia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo pão da vida.

Aos meus queridos pais, Edilson e Lídia, pelo apoio eterno.

A minha estimada vozita, Dalva, por suas orações que alcançaram toda a família e nos têm abençoado ao longo dos anos.

Aos meus cinco irmãos, Jane, Elton, Marcus, Junia e Junior pela alegria de tê-los em minha vida.

Ao Professor Gervásio Cavalcante, pelo apoio nos últimos 2 anos.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

À CETUC/PUC-RJ (Centro de Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro), na pessoa do professor Glaucio Lima Siqueira, pela realização da campanha e tratamento das medidas.

À Delegacia do Ministério das Comunicações do Pará (DMC-ANATEL) pelo laboratório móvel cedido para a campanha de medições.

A todos os alunos bolsistas do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado, em especial aos amigos André, Mário e Josiane.

Que Deus vos abençoe.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xii
Abstract	xiii
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Comunicações Móveis	1
1.1.1 – Propagação de Ondas Eletromagnéticas em uma Rua Urbana	3
1.2 – Estrutura da Tese	4
2 – FENÔMENOS DE PROPAGAÇÃO	6
2.1 – Introdução	6
2.2 – O Conceito de Raio	6
2.3 – Óptica Geométrica e Modelamento de Propagação de Onda	10
2.3.1 – Reflexão em Superfícies Lisas e Planas	11
2.4 – Absorção	16

2.5 – Espalhamento em Superfícies Rugosas	17
2.6 – Leis da Difração	18
2.7 – Espalhamento Temporal do Atraso do Sinal	25
3 – MODELAMENTO DO GUIA DE ONDA EM UHF	27
3.1 – Introdução	27
3.2 – Modelamento do Guia de Onda com Múltiplas Fendas Distribuídas Deterministicamente	29
3.2.1 – Traçada de Raios	30
3.2.1.1 – Teoria de Imagem	30
3.2.2 – Trajetórias de Raios Difractados	33
3.2.3 – Campo e Potência	38
3.2.3.1 – Parte Coerente da Intensidade de Campo	39
3.2.3.1.1 – Campo de Raios Refletidos	39
3.2.3.1.2 – Campo de Raios Difractados	42
3.2.3.2 – Parte não Coerente da Intensidade de Campo	45
3.3 – Distribuição Determinística das Múltiplas Fendas e Anteparos	47
4 – VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL E TEÓRICA	54

4.1 – Introdução	54
4.2 – Campanha de Medições	54
4.3 – Obtenção e Tratamento dos Dados	58
4.4 – Análise de Resultados Teóricos	57
4.4.1 – Raios de Campo não Coerente	58
4.4.2 – Raios LoS e Refletidos de Campo Coerente	60
4.4.3 – Raios Difractados de Campo Coerente	62
4.5 – Análise Comparativa de Resultados Teóricos e Experimentais	66
4.6 – Análise Transversal do Guia de Onda	71
4.7 – Análise do Espalhamento Temporal do Atraso do Sinal	74
CONCLUSÕES	76
APÊNDICE – <i>SET UP</i> DE MEDIÇÕES	78
A.1 – Introdução	78
A.2 – O sistema de Medições	78
A.2.1 – Transmissão	78
A.2.2 – Recepção e Armazenamento	80
A.2.3 – Aquisição e Análise	82
A.3 – Estação Móvel	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

2.1 – Reflexão de uma onda incidente em uma superfície lisa	12
2.2 – Caracterização de uma superfície rugosa	18
2.3 – Difração em obstáculo com borda de ângulo reto	19
2.4 – Fonte pontual próxima a um obstáculo difrator vista no plano superior	20
2.5 – Cone de difração vista no plano de elevação	

21

3.1 – Rua urbana modelada como um guia de onda com múltiplas fendas	29
3.2 – O conceito da teoria de imagem	31
3.3 – Representação de fontes imaginárias em um guia de onda plano paralelo	32
3.4 – Quatro tipos de trajetórias de raios difratados	34
3.5 – Difração vista num plano superior	35
3.6 – Raio incidente e difratado vista como uma linha reta no plano de elevação	36
3.7 – Distribuição das fendas e representação dos pontos de reflexão	47
4.1 – Mapa do bairro de Nazaré contendo a avenida Bráz de Aguiar.	55
4.2 – Intensidade de campo incoerente em função do alcance z	59
4.3 – Módulo do coeficiente de reflexão em função da distinção do raio m	60
4.4 – Intensidade de Campo Coerente de raios LoS e refletidos	61
4.5 – Módulo do coeficiente de difração para uma polarização <i>soft</i>	63
4.6 – Módulo do coeficiente de difração para uma polarização <i>hard</i>	64

4.7 – Módulo do campo de um único raio difratado	65
4.8 – Intensidade de campo dos raios difratados variando com o alcance z	66
4.9 – Valores experimentais e teóricos da intensidade de campo	68
4.10 – Intensidade de campo variando com o alcance z	69
4.11 – Intensidade de campo no eixo transversal, para $x_s = 7,5$ m	72
4.12 – Intensidade de campo no eixo transversal, para $x_s = 3,75$ m	
72	
4.13 – Intensidade de campo no eixo transversal, para $x_s = 0,5$ m	73
A.1 – Gerador de varredura e fonte de alimentação	79
A.2 – Antena transmissora colinear	80
A.3 – Vista do analisador de espectro e do gravador analógico	81
A.4 – Monopolo de recepção com bobina concentrada	82
A.5 – Equipamento de medição instalado no interior da viatura	83
A.6 – Viatura de medições (laboratório Móvel)	83
A.7 – Avenida Bráz de Aguiar	84

LISTA DE TABELAS

2.1 - Regiões de fronteira ao redor de uma borda reta difratora	20
4.1 - Parâmetros teóricos e experimentais	57
4.2 - Valores médios das medições de intensidade de campo ao longo da avenida Bráz de Aguiar	67

RESUMO

Neste trabalho, a propagação de ondas na faixa de UHF em uma rua de cidade é analisada. Esta rua é modelada como um guia de onda planar com múltiplas fendas laterais distribuídas deterministicamente. As características de propagação são determinadas a partir da utilização de alguns métodos como teoria de imagem e teoria da difração. Essa aproximação é expressa por campos de múltiplos raios que percorrem diferentes percursos. Estes raios podem incidir diretamente no receptor, podem refletir nas superfícies laterais do guia ou difratar em suas bordas antes de alcançarem o receptor do sistema. Com o objetivo de subtrair do campo final as perdas de raios nas regiões descontínuas das laterais da rua, é proposto o modelamento de um guia de onda com múltiplas fendas laterais distribuídas deterministicamente. Uma campanha de medições foi realizada na avenida Bráz de Aguiar, na cidade de Belém, Estado do Pará e os dados experimentais obtidos foram comparados com os simulados do modelo proposto e os resultados apresentaram uma boa concordância.

ABSTRACT

In this work, the propagation of UHF band waves in a city street are analyzed. This street is modeled as a planar waveguide with multiple lateral slits and screens distributed deterministically. The propagation characteristics are found by utilizing some methods as image theory and diffraction theory. This approaching is expressed by fields of multiple rays which goes through different routes between the transmitter and the receiver. In order to reduce the losses from the final field due the non-homogeneity of the street, the modeling of this waveguide is proposed. A measurement campaign was carried out in Bráz de Aguiar avenue, Belém City, and the experimental data was compared to the theoretical proposed model and a good agreement was obtained.