

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



Sidney Carlos da Cruz

**Verificação dos Níveis de Radiação
Emitidos pelas Antenas das ERBs e a
Percepção das Comunidades Próximas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de
Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Gláucio Lima Siqueira

Rio de Janeiro

Abril de 2005



Sidney Carlos da Cruz

**Verificação dos Níveis de Radiação
Emitidos pelas Antenas das ERBs e a
Percepção das Comunidades Próximas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Gláucio Lima Siqueira
Orientador

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Dr. Luiz Alencar Reis da Silva Mello

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Dr. Maurício Henrique Costa Dias
IME

Dr. Rodolfo Sabóia Lima de Souza

Centro de Estudos em Telecomunicações - PUC-Rio

Dr. Julio César Rodrigues Dal Bello
UFF

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de abril de 2005

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Sidney Carlos da Cruz

Nascido em Minas Gerais, Brasil, em 1957. Formado em Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações pela Faculdade General Roberto Nuno Lisboa em 1993. Atualmente é professor do curso técnico de Telecomunicações da Fundação de Apoio à Escola Técnica, Instituição ligada à Secretaria Estadual de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro. Autor dos artigos: "Uma estrutura de portas pode ser casada, recíproca e sem perdas?", publicados nos anais da semana de eletrônica da UFRJ em setembro de 2004, e "Selective RF power density measurements radiated by mobile telephony RBS in Rio de Janeiro city", selecionado para apresentação oral na 35ª Conferência Européia de Microondas em Paris.

Ficha Catalográfica

Cruz, Sidney Carlos da

Verificação dos níveis de radiação emitidos pelas antenas das ERBs e a percepção das comunidades próximas / Sidney Carlos da Cruz ; orientador: Gláucio Lima Siqueira. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2005.

165 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Letras – Teses. 2. Radiação não-ionizante. 3. Densidade de potência. 4. Efeito biológico. 5. Percepção ao risco. I. Siqueira, Gláucio Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

Para minha família pelo apoio nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Agradecimentos

À Deus por tudo.

Ao meu orientador professor Gláucio Lima Siqueira pelo estímulo, apoio e sugestões para a realização deste trabalho.

À FAETEC pelo suporte fornecido e apoio das pessoas envolvidas no processo.

Aos meus amigos, Luiz Cláudio, Tito e Rúbia, pela força e compreensão.

Aos meus professores do Departamento pelas dicas e contribuições dentro e fora da sala de aula.

Aos amigos do CETUC, João, Eduardo e Fabrício na realização das campanhas de medidas.

Ao grande amigo Robson pela colaboração incondicional, apoio e dicas tanto em campo como no laboratório.

À professora Leni (UFF) pela grande ajuda, contribuições e incentivos.

Ao amigo Eduardo Klein pela importante contribuição na melhoria do programa de aquisição de dados através do Matlab.

Aos professores que participaram da comissão examinadora.

Ao professor Carlos Dório do Departamento de Comunicação Social pelo suporte à pesquisa.

A todos os funcionários do Departamento que de uma forma ou outra contribuíram para este trabalho.

Resumo

Cruz, Sidney Carlos da; Siqueira, Gláucio Lima (Orientador). **Verificação dos Níveis de Radiação emitidos pelas antenas das ERBs e a Percepção das Comunidades Próximas.** Rio de Janeiro, 2005. 165p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Com a implantação e disseminação de novos sistemas celulares, principalmente a partir dos anos 80, novas tecnologias foram desenvolvidas, o número de celulares cresceu de forma surpreendente, como conseqüência, o aumento de Estações Radio Base. É fato, também, que as pessoas, de modo geral, estão expostas às radiações emitidas pelas ERBs através de suas antenas. Como a população, a mais interessada na busca de respostas adequadas e convincentes, não tem qualquer controle sobre tais níveis, cabe as autoridades a preocupação maior em garantir que os níveis de exposição não sejam excedidos. A partir deste quadro preocupante a OMS estabeleceu em 1996 o “International EMF Project” para avaliar as evidências científicas existentes sobre possíveis efeitos de campos eletromagnéticos à saúde, incluindo nestes os efeitos emitidos pelos próprios aparelhos celulares e por suas estações rádio-base. Este trabalho pretende contribuir no equacionamento desta questão, tão polemica e controversa. Iniciando com a evolução do número de celulares no Brasil, mostrando as funções básicas dos componentes de uma estrutura celular. No momento seguinte são mostrados alguns efeitos biológicos relacionados à radiação não-ionizante pesquisados na literatura. Tais efeitos, polêmicos e controversos, são amplamente discutidos por especialistas de diferentes linhas de pesquisa. O trabalho mostra, também, os resultados de uma campanha de medidas com as densidades de potência obtidas através de duas metodologias. Inclui, também, conceitos e características de percepção de risco e alguns resultados da pesquisa qualitativa de campo. Ao final são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema.

Palavras-chave

Radiação não-ionizante; densidade de potência; efeito biológico; percepção de risco

Abstract

Cruz, Sidney Carlos da; Siqueira, Gláucio Lima (Advisor). **Verification of the Radiation Levels emitted by ERBs antennae and the Perception of the Close Communities**, Rio de Janeiro, 2005. 165p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

With the implantation and spread of new cellular systems, mainly starting from the eighties, new technologies were developed, the number of cellular grew in a surprising way, as consequence, the Base Stations increased, too. The people, in general, are exposed to the radiations emitted by ERBs antennae. As the population doesn't have any control on such levels, people are always looking for appropriate and convincing answers. So, the authorities are concerned in guaranteeing that the exposition levels are not exceeded. Based on preoccupying issue, the World Health Organization (WHO) established in 1996 "International EMF Project" to verify the scientific evidence of possible health effects of Electromagnetic Field. This work intends to contribute in the set out of this controversial subject. At first, the cellular number evolution in Brazil is presented. In addition, the basic cellular structure components functions are described. The following topic presents some biological effects related to the non-ionizing radiation are presented according to the literature. Such controversial effects are discussed thoroughly by specialists of different research lines. This work also shows the power densities results obtained through two methodologies. Afterwards, concepts, risk perception characteristics and some results from a qualitative research are presented. At the end, the conclusions and suggestions for future works related to the same theme are shown.

Keywords

Non - ionizing radiation; power density; biological effect; risk perception

Sumário

1 Introdução	14
2 Arquitetura do sistema de comunicação móvel celular	18
2.1 Configuração básica do sistema celular	18
2.2 Tecnologias de acesso múltiplo	22
2.3 Controle de potência	26
2.3.1 Controle de potência no enlace reverso no CDMA	28
2.3.2 Controle de potência no enlace direto no CDMA	30
2.4 Antenas para sistemas celulares terrestres: tipos e configurações	32
3 Efeitos biológicos da radiação eletromagnética	40
3.1 Mecanismos de interação dos campos eletromagnéticos	42
3.2 Efeitos não-térmicos	46
4 Normas e limites de exposição a campos eletromagnéticos	49
4.1 Principais normas de segurança e os limites de SAR	49
4.2 Níveis de referência para exposição humana	54
4.3 Regulamento aprovado pela Anatel para exposição a campos de RF	59
5 Metodologias de medidas dos níveis de radiação das ERBs de um sistema celular	61
5.1 Modelo de propagação adotado como referência	61
5.1.1 Propagação no espaço livre	62
5.1.2 Modelo de cálculo utilizado na estimativa das medidas	64
5.2 Diretrizes gerais para execução das medidas	66
5.3 Instrumental e procedimentos utilizados no processo de medidas	67
5.3.1 Instrumental utilizado na metodologia de medidas 1	68
5.3.2 Instrumental utilizado na metodologia de medidas 2	70
5.3.3 Procedimentos utilizados no processo de medidas – Metodologia 1	72
5.3.4 Procedimentos utilizados no processo de medidas – Metodologia 2	73
5.4 Cenários e Resultados das medidas realizadas nas ERBs	75

5.4.1 Locais e realização das medidas	76
6 Análise comparativa dos resultados	93
6.1 Análise dos resultados	93
6.2 Vantagens e desvantagens dos equipamentos de medidas	100
7 Percepção de riscos de campos eletromagnéticos pela população	102
7.1 Riscos e fator de risco	103
7.2 Percepção de risco	104
7.3 Pesquisa qualitativa	106
7.3.1 Entrevista: Conceito e características	108
7.3.2 Diretrizes para execução da Pesquisa qualitativa	109
7.3.3 Entrevista de campo	110
7.3.4 Análise das entrevistas	112
7.3.5 Considerações finais	113
8 Conclusão	114
Referências Bibliográficas	117
Anexo 1 – Certificado de calibração do analisador de espectro	121
Anexo 2 – Certificado de Calibração do medidor isotrópico	125
Anexo 3 – Programa para aquisição de dados através da metodologia de medidas 2	133
Anexo 4 – Formulário de entrevista	165

Lista de figuras

Figura 1 - Estrutura básica do Sistema Móvel Celular	19
Figura 2 – Arquitetura completa de um Sistema Celular	19
Figura 3 - Tipos de ERBs: <i>Outdoor Greenfield</i> e <i>Rooftop</i>	21
Figura 4 - Esquema de acesso múltiplo por divisão de frequência [7]	23
Figura 5 - Esquema de acesso múltiplo por divisão de tempo com 3 “time slots” por canal digital [7]	24
Figura 6 - Esquema de canalização digital de RF do CDMA [7]	25
Figura 7 - Efeito perto-distante em uma célula CDMA	29
Figura 8 - Controle de potência de laço fechado [9]	30
Figura 9 - Antena omni com seus diagramas de radiação horizontal e vertical [13]	32
Figura 10 - Antena diretiva com seus diagramas de radiação horizontal e vertical [13]	33
Figura 11- Antena diretiva com seus diagramas de radiação horizontal e vertical [13]	33
Figura 12 - ERB típica de um sistema GSM com 3 antenas omnidirecional	34
Figura 13 - Possíveis configurações com antenas diretivas e seus diagramas de radiação [13]	34
Figura 14 - Antenas diretivas configuradas a 120° com diversidade de espaço	35
Figura 15 - Antena com 3 setores a 120°	35
Figura 16 - Antenas externas diretivas cobrindo setores em ERB “Rooftop”	36
Figura 17 - Antenas externas diretivas com “down tilt” cobrindo setores em ERB “Rooftop”	36
Figura 18 - Antena omni “indoor” [13]	37
Figura 19 - Antena diretiva feita com tecnologia de microfita [13]	37
Figura 20 - Alguns parâmetros internos utilizados na antena com tecnologia de microfita [13]	37
Figura 21 - Antenas instaladas em diferentes tipos de torres de sistemas celulares	38
Figura 22 - Antenas e torres camufladas em harmonia com o ambiente	38
Figura 23 - Espectro eletromagnético e suas aplicações	40
Figura 24 - Processo de interação das ondas eletromagnéticas com o corpo humano	42

Figura 25 - Cobertura do feixe da antena de uma ERB	46
Figura 26 - Usuário com o terminal junto à cabeça	51
Figura 27 - Níveis máximos de exposição permissíveis em termos de intensidade de campos e de densidade de potência para ambientes controlados segundo a ANSI/IEEE (norma C.95.1, 1999) para a faixa de 3KHz a 300GHz	58
Figura 28 - Níveis máximos de exposição permissíveis em termos de intensidade campo e de densidade de potência para ambientes não-controlados segundo a ANSI/IEEE (norma C.95.1, 1999) para a faixa de 3KHz a 300GHz	58
Figura 29 - Limites de exposição a campos de RF de acordo com a resolução 303 da Anatel	60
Figura 30 - Determinação do ângulo em relação ao lóbulo principal	65
Figura 31 - Configuração dos equipamentos para medição na metodologia de medidas 1	68
Figura 32 - Curva da perda de retorno da antena discônica medida pelo Analisador de Rede	69
Figura 33 - Sistema de energia não comercial para alimentar os equipamentos na metodologia de medidas 1	70
Figura 34 - O Medidor Isotrópico PMM 8053 A	71
Figura 35 - Sonda de campo elétrico EP-330 [40]	72
Figura 36 - Resposta em frequência para a sonda EP-330 [40]	72
Figura 37 - Exemplo de uma aquisição de uma medida [40]	74
Figura 38 - Exemplo de medidas para exposição populacional em ambiente interno	75
Figura 39 - Exemplo de medidas para exposição ocupacional em ambiente externo	76
Figura 40 - Localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para população em geral, na frequência de 892,71 MHz, no bairro de Copacabana-RJ	77
Figura 41 - Representação gráfica dos pontos medidos e teóricos na ERB instalada em Copacabana	79
Figura 42 - Localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para população em geral, na frequência de 893 MHz, no bairro do Méier-RJ	80
Figura 43 - Representação gráfica dos pontos medidos e teóricos na ERB instalada no Méier	81

Figura 44 - Croquis para localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para exposição ocupacional e para população em geral em Botafogo, na Rua Voluntários da Pátria 143, terraço, 3º e 4º andares, na frequência de 893 MHz	83
Figura 45 - Representação gráfica dos pontos medidos e teóricos na ERB instalada em Botafogo, na Rua Voluntários da Pátria 143 (terraço, 3º e 4º andares), na frequência de 893 MHz	85
Figura 46 - Croqui para localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para exposição ocupacional do ed. Kennedy da PUC-Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea	87
Figura 47 – Representação gráfica dos pontos medidos nas ERBs instaladas no terraço do Ed.Kennedy da PUC-Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea	88
Figura 48 - Croqui para localização dos pontos para medidas de exposição a CEM para exposição ocupacional no estacionamento da PUC - Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea	89
Figura 49 - Representação gráfica dos pontos medidos no estacionamento PUC – Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea	90
Figura 50 - Croqui de localização dos pontos de medição no condomínio ABV, na rua Martins Leão no Alto da Boa Vista	91
Figura 51 - Representação gráfica dos pontos medidos no condomínio ABV, na rua Martins Leão no Alto da Boa Vista	92
Figura 52 - Representação gráfica dos pontos medidos na ERB instalada em Copacabana	94
Figura 53 - Representação gráfica dos pontos medidos na ERB instalada no Méier	95
Figura 54 - Representação gráfica dos pontos medidos na ERB instalada em Botafogo	96
Figura 55 - Representação gráfica dos pontos medidos no terraço do Ed. Kennedy PUC	97
Figura 56 - Representação gráfica dos pontos medidos no estacionamento da PUC - Rio	98
Figura 57 - Representação gráfica dos pontos medidos no condomínio ABV	98
Figura 58 - Entrevista de campo como etapa da pesquisa qualitativa realizada	112

Lista de tabelas

Tabela 1 - ERBs licenciadas (2003) e até jun/04	Fonte: Anatel	15
Tabela 2 - ERBs licenciadas até dezembro/04	Fonte: Anatel	15
Tabela 3 - Bandas de frequência para o celular no Brasil		22
Tabela 4 - Frequências e os principais efeitos biológicos		43
Tabela 5 - Limitações de SAR baseada da norma ANSI/IEEE C95.1		51
Tabela 6 - Limitações de SAR baseada na norma do ICNIRP para a faixa de 100 kHz a 10GHz		53
Tabela 7 - Níveis de referência da norma ANSI/IEEE na faixa de 100 kHz a 300 GHz		54
Tabela 8 - Níveis de referência da norma ICNIRP na faixa de 100 kHz a 300 GHz		55
Tabela 9 - Níveis de referência da FCC para a faixa de 300KHz a 100GHz		56
Tabela 10 - Densidades de potência e efeitos térmicos associados [15]		60
Tabela 11 – Valores de densidades de potência medidos e teóricos para os pontos selecionados na ERB Copacabana		77
Tabela 12 – valores de densidades de potência medidos e teóricos para os pontos selecionados na ERB instalada no Méier		80
Tabela 13 - Valores de densidades de potência medidos e teóricos para os pontos selecionados na ERB Botafogo na Rua Voluntários da Pátria 143, terraço, 3º e 4º andares, na frequência de 893 MHz		84
Tabela 14 - Valores de densidades de potência medidos para os pontos situados no terraço do Ed. Kennedy da PUC-Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea		87
Tabela 15 - Valores de densidades de potência medidos no estacionamento PUC - Rio, na rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea		89
Tabela 16 - Valores de densidades de potência medidos no condomínio ABV, na rua Martins Leão no Alto da Boa Vista		91
Tabela 17 - Pontos medidos pelas duas metodologias até 70m da fonte que apresentaram pequenas variações (até 10vezes)		99
Tabela 18 - Diferenças na avaliação de risco por diferentes atores		104