

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO TECNOLÓGICO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES

BETÂNIA BUSSINGER

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR
RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES NA FAIXA DE TELEFONIA CELULAR

NITERÓI
2007

BETÂNIA BUSSINGER

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR
RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES NA FAIXA DE TELEFONIA CELULAR

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

Orientador: Prof. JULIO CESAR RODRIGUES DAL BELLO, Doutor em Ciências

Co-orientador: Prof. CLAUDIO ALBERTO SERFATY, Doutor em Ciências

Niterói
2007

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

B981 Bussinger, Betânia.

Análise comparativa dos efeitos biológicos causados por radiações não ionizantes na faixa de telefonia celular / Betânia Bussinger. – Niterói, RJ: [s.n.], 2007.
130 f.

Orientadores: Julio Cesar Rodrigues Dal Bello, Cláudio Serfaty.
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Telecomunicações) - Universidade Federal Fluminense, 2007.

1. Telefonia celular. 2. Campo eletromagnético. 3. Radiação - Efeitos. 4. Sistemas de comunicação móvel. I. Título.
CDD 621.38456

BETÂNIA BUSSINGER

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR
RADIAÇÕES NÃO IONIZANTES NA FAIXA DE TELEFONIA CELULAR

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

Aprovada em 17 de Dezembro de 2007.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JULIO CESAR R. DAL BELLO - Orientador
Engenheiro de Telecomunicações - UFF

Prof. Dr. CLAUDIO SERFATY - Co-orientador.
Biofísico - Instituto de Biologia – UFF

Prof. Dr. EDUARDO VALE
Engenheiro de Telecomunicações - UFF

Profa. Dra. PAULA CAMPELLO COSTA LOPES
Biofísica - Instituto de Biologia – UFF

Profa. Dra. PRISCILLA OLIVEIRA SILVA
Biofísica - Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ

Niterói
2007

A Deus, por minha vida repleta de felicidades e bênçãos, que me deu a oportunidade, saúde e coragem necessárias para retornar à Universidade, após 29 anos, realizando um antigo sonho.

Aos meus queridos filhos, Rebecca e Pedro Henrique, pelo amor e por me ajudarem a transformar as dificuldades em incentivo.

Aos meus pais Mathatias (*in memoriam*) e Élia, por todo o amor e exemplo de vida.

E a todos que acreditaram e acreditam em meus esforços e em minha dedicação.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, os meus agradecimentos especiais ao Prof. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello, por ter acreditado que eu conseguiria chegar ao término desta jornada, mesmo sabendo das minhas dificuldades inerentes ao retorno aos estudos, após vários anos distante da vida universitária. Com sua visão de futuro e espírito inovador, soube aproveitar minha experiência profissional e transformá-la em acadêmica, iniciando uma nova e importante área de estudo dentro da Universidade. Orientou-me durante toda a pesquisa, incentivando, iluminando meus passos e me apoiando em cada etapa da elaboração de minha dissertação, fazendo de sua experiência a certeza de meu sucesso.

Ao Prof. Cláudio Serfaty, meus profundos agradecimentos por ter conseguido com sabedoria e didática, orientar-me na árdua tarefa de iniciar uma importante interface entre duas áreas: a Engenharia e o maravilhoso mundo da Biologia.

Ao Programa de Pós-graduação dos Departamentos de Engenharia de Telecomunicações da Escola de Engenharia e ao Departamento de Neurobiologia do Instituto de Biologia, da Universidade Federal Fluminense-UFF. Agradeço pela oportunidade e ensinamentos recebidos.

Ao Prof. Andres Pablo Barbero, coordenador do Programa de Mestrado de Engenharia Telecomunicações, pelo apoio e incentivo.

Aos Funcionários, pelo suporte fornecido.

Aos componentes da banca examinadora, Prof. Dr. Julio Cesar Rodrigues Dal Bello, Prof. Dr. Cláudio Serfaty, Prof. Dra. Paula Campello Costa Lopes, Prof. Dr. Eduardo Vale e Prof. Dra. Priscilla Oliveira Silva, agradeço a honra de suas presenças.

Agradeço, também, aos Professores, Mauro Assis, Eduardo Vale, Moacyr Brajterman, Jorge Fernandes Morais e Leni Joaquim de Matos, pelo apoio, interesse e disponibilidade.

Não poderia deixar de agradecer, de maneira especial, aos Mestres em Ciências, Christiano Freitas, Ruy Porto e Fausto Ferraris, pela imprescindível ajuda e dedicação.

Aos meus colegas, Elaine Rangel Seixas, Wilyam Torres Meza, Gustavo Martins Bastos e Fábio da Fonseca, obrigada pela parceria.

Finalizando, todo o meu carinho, respeito e admiração para o Eng^o Agr^o Guttman, sempre presente com sua sabedoria, nos momentos mais difíceis.

Na certeza de ter imortalizado, nesta seção de agradecimentos, pessoas que levarei para sempre na memória, de uma experiência muito enriquecedora e gratificante na minha vida, que foi esse Mestrado, mais uma vez, obrigada!

RESUMO

Este é o primeiro trabalho de pesquisa realizado em conjunto pelo Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Instituto de Biologia, ambos da Universidade Federal Fluminense, iniciando uma interface importante para melhor compreensão dos efeitos biológicos causados, no corpo humano, pela exposição à radiação na faixa de frequência da telefonia celular. A análise destes efeitos foi feita através de conceitos técnicos de Engenharia de Telecomunicações e de Biologia, com subsídios originados pelo desenvolvimento de um Banco de Dados, onde foram incluídas pesquisas nacionais e internacionais publicadas em 42 Países, nos últimos dez anos. Foi dada ênfase nos efeitos Biológicos das Radiações Não Ionizantes e Efeitos Não Térmicos nas “Proteínas HSP 27-Heat Shock Protein” permitindo assim uma visão atual dos resultados científicos obtidos.

Palavras-chave: Efeitos Biológicos. Campo Eletromagnético. Radiação Não Ionizante. Telefone Celular. Sistema Móvel Celular. Comunicações Móveis.

ABSTRACT

This dissertation summarizes the results of the researches obtained by the Telecommunication Department in partnership with Biological Institute, both of *Universidade Federal Fluminense (UFF)*. These results show an important and current area of innovative research in this country, which is similar to the researches undertaken about bioeletromagnetism. A comparative analysis of the biological effects caused by non-ionising radiations in the range of cellular systems is presented through the technical concepts of Telecommunications Engineering and of Biology, with the aid originated from the development of a data base, and the review of national and international researches which have been published within 42 countries in the last ten years. It is emphasized the biological effects of “non-ionising radiation and non-thermal effects” on “HSP (Heat Shock Protein) 27” which though allows the current vision of the scientific results of the biological effects.

Keywords: “Mobile phone” and “EMF” (Electric magnetic field). “Cellular Phone” and “EMF”. “Biological Effects” and “Mobilephone”. “Biological Effects” and “Cellular”.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Rota evolutiva dos Sistemas Celulares, f. 26
- Figura 2.1 – Arquitetura do Sistema UMTS, f. 31
- Figura 2.2 - Elementos de rede de uma PLMN, f. 32
- Figura 2.3 - Estrutura do protocolo da interface-rádio, f. 39
- Figura 2.4 - Estrutura comum nas transmissões UMTS, f. 42
- Figura 3.1 - Evolução da Padronização, f. 49
- Figura 3.2 - Processo de planejamento da rede WCDMA, f. 51
- Figura 4.1 - Dupla fita de ADN, f. 67
- Figura 4.2 - Quebra simples na fita de ADN, f. 67
- Figura 4.3 - Quebra dupla na fita de ADN, f. 68
- Figura 4.4 - Espectro Eletromagnético, f. 70
- Figura 4.5 - Efeitos Térmicos, f. 73
- Figura 4.6 - *Drosophila melanogaster*, f. 80
- Figura 5.1 - Telas representativas do banco de dados, f. 99
- Figura 5.2 - Número de Publicações por Ano, f. 101
- Figura 5.3 - Número de Publicações por País, f. 102
- Figura 5.4 - Distribuição dos Efeitos Biológicos (efeitos térmicos e/ou não térmicos) para o total dos Países, f. 104
- Figura 5.5 - Distribuição dos Efeitos Térmico para o total dos Países, f. 105
- Figura 5.6 - Total das pesquisas cadastradas por Modelo Biológico, f. 106
- Figura 5.7 - Os dez Países com maior número de publicações, f. 107
- Figura 5.8 - Total dos 10 Países que mais publicaram por Efeito Biológico, f. 109
- Figura 5.9 - Total da distribuição dos dez Países que mais publicaram por Efeito Térmico, f. 110
- Figura 5.10 - Diagrama de blocos da quantidade publicada por Módulos, f. 110
- Figura 5.11 - Percentual da quantidade publicada por Módulos, f. 111
- Figura 5.12 - Distribuição dos Efeitos Biológicos por Módulos, f. 111
- Figura 5.13 –Distribuição de Efeitos Térmicos por Módulos, f. 112
- Figura 5.14 - Os quatro Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Cérebro, f. 113

Figura 5.15 - Os quatro Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Proteínas, f. 114

Figura 5.16 - Os quatro Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Pele, f. 115

Figura 5.17 - Os quatro Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Diversos, f. 116

Figura 6.1 - Resultados da distribuição total dos Efeitos Térmicos, f. 124

Figura 6.2 - Resultados da distribuição total dos Efeitos Biológicos, f. 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Exemplos de aplicações em conteúdo multimídia, f. 28

Tabela 3.1 – Parâmetros e variáveis para cálculo de Enlace, f. 52

Tabela 4.1 - Restrições Básicas para exposição a CEMRF, f. 83

Tabela 5.1 - Número total de publicações por País, f. 103

Tabela 5.2 - Distribuição dos Modelos Biológicos estudados nas publicações, f. 105

Tabela 5.3 - Os dez Países que mais publicaram, f. 108

Tabela 5.4 - Os quatro Efeitos Biológicos mais citados por Módulos, f. 112

Tabela 6.1 - Distribuição dos Resultados dos Efeitos Biológicos, f. 123

LISTA DE SIGLAS

3 GPP	Third Generation Partnership Project (produces WCDMA standard)
ACEL	Associação Nacional das Operadoras de Celular
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ALCAP	Access link control application part
AM	Acknowledged mode
AMC	Adaptative Modulation and Coding
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Program Interfaces
BBB	Blood Brain Barrier (Barreira hematoencefálica)
BMC	Broadcast / Multicast Control Protocol
BTS	Base Transceiver Station
BSC	Base Station Controller
CAPES	Coordenação Aperfeiçoamento Pessoal
CC	Call Control
CCC	Central de Comutação e Controle
CDMA	Code Division Multiple Access
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CN	Core Network
CPC	Continuos Packet Connectivity
CS	Circuit Switched
DAB	Digital Audio Broadcast
DC	Dedicated Control
DCH	Dedicated Channel
DSP	Digital Signal Processor
DVB	Digital Video Broadcast
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EIA	Electronic Industry Association
EM	Estação Móvel

ERB	Estação Rádio-Base
EPI	Equipamento Proteção Individual
EPS	Evolved Packet System
EUTRAN	Evolved UTRAN
EV-DO	Evolution-Data Only
EV-DV	Evolution-Data Voice
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division
FDMA	Frequency Division Multiplex Access
FI	Frequência Intermediária
FM	Frequency Modulation
GC	Geral Control
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMCS	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HAPs	High Amplitude Plataforms
HiperLAN	High Performance Radio Local Area Network
HLR	Home Location Register
HOMs	Higer order Modulations
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSP	Heat Schok Protein
HSPA	High Speed Packet Access
HSR	Heat Schok Response
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ICNIRP	International Commission on Nonionizing Radiation Protection
IMT	International Mobile Telecommunication
IMTS	Improved MobileTelephone System
IMS	IP Multimedia System
INATEL	Instituto Nacional de Telecomunicações

IP	Internet Protocol
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IS	Interim Standard
ITU	Internacional Telecommunication Union
IU-BS	Broadcast Switch
IU-CS	Circuit Switch
IU- PS	Packet Switch
LAN	Local Access Network
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MATRICE	Transmission Techniques for Integrated Broadband Cellular Systems
Mpbs	Megabits per second
MC-CDMA	Multi carrier Code Division Mutiple Access
ME	Mobile Equipment
MIMO	Multiple Input Multiple Out
MM	Mobility management
Mobile VCE	Mobile Virtual Centre of Excellence
MT	Mobile termination
M-QAM	Multi-Quadrature Amplitude Modulation
NBAP	Node B Application Part
NCBI	National Library of Medicine
NMT	Nordic Mobile Telephone
NT	Notificação
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OMS	Organização Mundial de Saúde
OSA	Open Services Access
PCMCIA	Placa de rede para Laptop
PDA	Personal Digital Assistant
PDC	Pacific Digital Cellular
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PHY	Physical
PLMN	Public Land Mobile Network

PP	Princípio da Precaução
PS	Packet Switched
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUB MED	Biomedical literature citations/ abstracts/ fulltext
PUC	Pontifícia Universidade Católica
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAND	Randômico (número)
RAN	Radio Access Network
RF	Rádio frequência
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Systems
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RTT	Radio Transmission Technology
SAO	Service Access Point
SAP	Service Access Point
SAR	Specific Absorption Rate
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message Service
TACS	Total Access Communication System
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TIA	Telecommunication Industry Association
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
EU	User equipment
UFMG	Universidade Federal Campina Grande – Paraíba
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRGS	Universidade Federal Rio Grande do Sul

UFSC	Universidade Federal Santa Catarina
UICC	(UMTS) Integrated Circuit Card
UIT	União Internacional de Telecomunicações
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UNICAMP	Universidade de Campinas
URA	Unit of Remote Access
USIM	User Identify Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UWB	Ultra Wide Band
VHE	Virtual Home Environment
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voz sobre IP
VoD	Video on Demand
VSF-OFDM	Variable Spreading Factor – Orthogonal Frequency and Coding Multiplex
XDSL	Digital Subscriber Line
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WHO	World Health Organization
Wi Max	Worldwide Interoperability of Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WRC	World Research Conference
WWI	Wireless World Initiative

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO, p. 21

1.1 HISTÓRICO, p. 21

1.1.1 Os Sistemas Celulares de Primeira Geração (1G), p. 23

1.1.2 Os Sistemas Celulares de Segunda Geração (2G), p. 23

1.1.3 Os Sistemas Celulares de Terceira Geração (3G), p. 24

1.1.4 Os Sistemas Celulares de Quarta Geração (4G), p. 26

1.2 OBJETIVO, p. 30

1.3 ESTRUTURA, p. 30

2 SISTEMAS DE TERCEIRA GERAÇÃO (3G) – UMTS, p. 31

2.1 ARQUITETURA UMTS, p. 31

2.1.1 Equipamento do Usuário (UE), p. 33

2.1.2 Rede de Acesso-Rádio (UTRAN), p. 33

2.1.3 Núcleo de Rede (*Core Network*), p. 35

2.1.4 Interfaces, p. 37

2.1.5 Redes Externas, p. 38

2.2 PROTOCOLOS, p. 38

2.2.1 Canais Lógicos do Sistema, p. 40

2.2.2 Bandas de Funcionamento e Largura de Banda de RF, p. 41

2.2.3 Transmissões e Taxa de Chip, p. 42

2.3 SERVIÇOS, p. 42

2.4 ARQUITETURA DE SEGURANÇA, p. 44

2.4.1 Confidencialidade da Identidade do Usuário, p. 45

2.4.2 Autenticação, p. 46

2.4.3 Confidencialidade do Sistema, p. 46

3 PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS UMTS, p. 48

3.1 EVOLUÇÃO DO UMTS, p. 48

- 3.2 PADRONIZAÇÃO DO UMTS, p. 49
- 3.3 PLANEJAMENTO DA REDE WCDMA-UMTS, p. 50
- 3.3.1 Cálculo do Enlace-rádio, p. 52

4 EFEITOS BIOLÓGICOS, p. 62

- 4.1 INTRODUÇÃO, p. 62
- 4.2 HISTÓRICO DOS EFEITOS BIOLÓGICOS CAUSADOS PELA RADIAÇÃO, p. 62
- 4.3 EFEITOS BIOLÓGICOS, p. 63
- 4.4 BIOELETROGÊNESE, p. 64
- 4.5 “QUEBRAS” SIMPLES E DUPLAS DE ADN (Ácido Desoxirribonucléico), p. 66
- 4.6 BIOELETROMAGNETISMO (ou BIOELETRICIDADE), p. 69
- 4.7 RADIAÇÕES, p. 69
 - 4.7.1 Radiação Ionizante, p. 69
 - 4.7.2 Radiação não Ionizante, p. 69
- 4.8 FENÔMENOS DE EXPOSIÇÃO DAS CÉLULAS, p. 71
 - 4.8.1 Fenômenos Físicos, p. 71
 - 4.8.2 Fenômenos Químicos, p. 71
 - 4.8.3 Fenômenos Biológicos, p. 72
- 4.9 EFEITOS TÉRMICOS, p. 72
- 4.10 EFEITOS NÃO TÉRMICOS, p. 74
 - 4.10.1 Efeitos Não Térmicos das Radiações Não Ionizantes: Projeto Reflex, p. 75
- 4.11 PROTEÍNAS, p. 77
 - 4.11.1 Síntese das Proteínas, p. 77
 - 4.11.2 Estrutura das Proteínas, p. 78
 - 4.11.3 Função das Proteínas, p. 78
 - 4.11.4 Proteínas Chaperonas, p. 79
 - 4.11.5 Proteínas de Choque Térmico-HSP (*Heat Shock Protein*), p. 79
 - 4.11.6 Resposta ao Choque Térmico HSR (*Heat Shock Response*), p. 80
 - 4.11.7 Proteína de Choque Térmico Hsp-27, p. 81
- 4.12 BARREIRA HEMATOENCEFÁLICA – (BBB – *Blood Brain Barrier*), p. 82
- 4.13 RESOLUÇÃO 303 ANATEL PARA LIMITES DE EXPOSIÇÃO, p. 83

5 BANCO DE DADOS , p. 85
5.1 INTRODUÇÃO, p. 85
5.2 MODELO RELACIONAL, p. 85
5.3 METODOLOGIA, p. 86
5.4 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO, p. 87
5.5 CLASSIFICAÇÃO POR MÓDULOS, p. 88
5.6 PALAVRAS-CHAVE, p. 96
5.7 ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS, p. 96
5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS, TABELAS E GRÁFICOS, p. 100
5.9 TRATAMENTO DOS DADOS REGISTRADOS, p. 100
5.10 RESULTADOS, P. 101
5.10.1 Número de Publicações por Ano, p. 101
5.10.2 Número de Publicações por País, p. 101
5.10.3 Análises dos Efeitos Biológicos, p. 104
5.10.4 Análises dos Efeitos Térmicos, p. 104
5.10.5 Modelos Biológicos, p. 105
5.10.6 Os dez Países com maior número de publicações, p. 107
5.10.7 Os Efeitos biológicos nos 10 Países com maior número de publicações, p. 108
5.10.8 Os Efeitos Térmicos nos 10 Países com maior número de publicações, p. 109
5.10.9 Número total de Publicações por Módulos, p. 110
5.10.10 Distribuição das Publicações por Módulos, p. 111
5.10.11 Classificação dos Efeitos Biológicos por Módulos, p. 111
5.10.12 Classificação dos Efeitos Térmicos/Não Térmicos por Módulos, p. 112
5.10.13 Os quatro efeitos biológicos mais citados nos quatro maiores módulos do Banco de Dados, p. 112
5.11 REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE, p. 116
5.11.1 Meta-análise, p. 117
5.11.2 Impossibilidade da aplicação da meta-análise no Banco de Dados, p. 118

6 CONCLUSÕES, p. 120

6.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS, p. 125

7 REFERÊNCIAS, p. 126

ANEXO I, p. 130

ANEXOS II, p. 133

1 INTRODUÇÃO

Nesta dissertação, é apresentada uma análise comparativa dos efeitos biológicos causados por radiações não ionizantes na faixa de telefonia celular, utilizando conceitos das áreas de engenharia e biologia (bioeletromagnetismo), para fins de acompanhamento científico e melhor entendimento das pesquisas nacionais e internacionais publicadas sobre o assunto, em quarenta e dois países, nos últimos dez anos, que foram cadastradas em um Banco de Dados desenvolvido pela autora.

1.1 HISTÓRICO

A história das comunicações começa com três desenvolvimentos científicos fundamentais:

- A consolidação em quatro equações, pelo matemático escocês James Clerk Maxwell, em 1873, das leis fundamentais do eletromagnetismo, no trabalho intitulado “*A Treatise on Electricity and Magnetism*”;
- A comprovação experimental realizada pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz, em 1888, da teoria estabelecida anteriormente por Maxwell;
- A série de experiências realizadas pelo físico italiano Guglielmo Marconi, entre 1894 e 1895, mostrando a viabilidade prática de utilização das ondas eletromagnéticas em comunicações à longa distância.

Durante o século XX, houve uma crescente evolução (lenta nas primeiras décadas) das comunicações móveis. Esta evolução foi marcada por uma série de eventos e alguns deles

serão citados a seguir em ordem cronológica, assinalando o período que antecedeu a implantação da Telefonia Móvel Celular.

A experiência pioneira de implantação de um sistema analógico de comunicações móveis foi realizada em 1921, no Departamento de Polícia de Detroit (USA), utilizando a frequência de 2 MHz. Tratava-se de um sistema unidirecional que permitia o envio de mensagens para as viaturas do Departamento e cujo retorno obrigava o uso da rede de telefonia fixa, sendo o precursor do serviço de busca (*paging*).

Em 1928, foi desenvolvido o receptor super-heterodino, para que os circuitos sintonizados do receptor funcionassem em uma frequência fixa pré-determinada, chamada de Frequência Intermediária (FI), evitando a alteração da banda passante com a variação de frequência, ou seja, eliminando o problema da seletividade variar ao longo da faixa.

Em 1935, foi inventada a modulação em frequência, possibilitando que, em 1946, fosse testado o primeiro serviço móvel manual de telefonia pública nos Estados Unidos, operando em 150 MHz, consequência direta do desenvolvimento tecnológico alcançado durante a 2ª Guerra Mundial.

A partir de 1947, foi criado o serviço móvel para auto-estrada, operando em 35 MHz, e os Laboratórios Bell (*Bell Labs* – USA) conceberam a estrutura celular.

Em 1956, foi utilizado o serviço móvel em 450 MHz e em 1964 o serviço automático em 150 MHz, denominado IMTS (*Improved Mobile Telephone System*), que, em 1969, foi automatizado em 450 MHz.

Em 1975, foi outorgada pela FCC (*Federal Communication Commission*) nos Estados Unidos, a faixa de 800 MHz para telefonia móvel celular e, somente em 1978, foi instalado, na cidade de Chicago (USA), um sistema experimental com base no padrão analógico AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) desenvolvido nos Laboratórios Bell.

Em 1983, após a decisão da FCC de atribuir uma faixa de frequências em 800 MHz para a telefonia celular, foi possível iniciar testes de campo visando à implantação do novo serviço. No entanto, por problemas de regulamentação, este sistema começou a operar, comercialmente, cinco anos mais tarde. Neste período, a telefonia celular foi introduzida em diversos Países, com padrões também analógicos que tiveram o AMPS por referência (WIRELESS, 2001).

1.1.1 Os Sistemas Celulares de Primeira Geração (1G)

Os primeiros sistemas de telefonia móvel, conhecidos como sistemas celulares de primeira geração (1G), foram originalmente concebidos para o tráfego analógico de voz numa área de cobertura celular. Estes sistemas têm uma estrutura de sinalização muito simples, apresentam baixa eficiência espectral e utilizam a comutação por circuitos, com transmissão analógica, em faixa estreita, com modulação em frequência (FM).

Os Sistemas 1G são extremamente vulneráveis às interferências e as conversações podem ser facilmente interceptadas. A técnica de acesso é FDMA com 30 kHz de largura de faixa, utilizando a técnica de reuso. A arquitetura de rede é basicamente composta da Estação Rádio Base (ERB), Central de Comutação e Controle (CCC) e EM (Estação Móvel).

Como exemplos desta primeira geração, destacam-se os seguintes sistemas:

- AMPS: foi o sistema predominante nas Américas, chegando a dominar 70% do mercado mundial, tendo servido de base para os demais sistemas analógicos;
- TACS (*Total Access Communication System*): foi implantado primeiramente em Tóquio, em 1979, e posteriormente no Reino Unido, em 1982, sendo praticamente idêntico ao AMPS, exceto no que diz respeito à largura de faixa do canal de voz de 25 kHz (WIRELESS, 2001 e ASSIS, 2004);
- NMT-450 (*Nordic Mobile Telephone*) e NMT-900: adotados pelos países Nórdicos (Dinamarca, Suécia, Noruega e Finlândia) a partir de 1980;
- C-450, adotado por Portugal e Alemanha.

1.1.2 Os Sistemas Celulares de Segunda Geração (2G)

Em 1980, foram iniciados estudos nos Estados Unidos, Europa e Japão para desenvolver sistemas que operassem com tecnologia digital e que atendessem os critérios de melhor qualidade com maior capacidade e robustez quanto a interferências. Tais sistemas foram concluídos e implementados na década de 90, resultando na atual segunda geração da telefonia celular (2G).

A principal característica destes sistemas é a comunicação de voz digital, dispondo de serviços como o SMS (*Short Message Service*), e utilizam comutação por circuitos a baixas taxas de transmissão, de 9,6 a 14,4 kbps.

A capacidade espectral dos sistemas 2G é significativamente maior que a dos sistemas anteriores e a estrutura de sinalização e controle são mais sofisticadas, possibilitando uma maior segurança quanto à autenticação e privacidade. Técnicas de múltiplo acesso como TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Divison Multiple Access*) foram utilizadas em conjunto com o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).

Os sistemas IS (*Interim Standard*) IS-136 e o IS-95, PDC (*Pacific Digital Cellular*) e o GSM (*Global System for Mobile Communication*) são exemplos desta segunda geração. O GSM é o de maior sucesso em escala mundial, por apresentar uma arquitetura de rede mais distribuída, com mais segurança, serviços e capacidades, possibilitando com maior facilidade o *roaming* (WIRELESS, 2001 e ASSIS, 2004).

Com o rápido crescimento da demanda por serviços de dados, houve a necessidade de aumentar a capacidade e as taxas de transmissão, levando os sistemas a evoluírem no final da década de 90 para a chamada geração 2,5. Como principal exemplo desta geração tem-se o GPRS (*General Packet Radio Service*), evolução do GSM, que funciona com comutação por pacotes através de um novo elemento de rede, um *gateway* GPRS. Desta forma, maiores taxas conseguidas junto às novas técnicas de codificação.

Ainda no começo dos anos 90, para fins de universalização das comunicações móveis, tornando as redes interoperáveis e capazes de suportar as diferentes aplicações da multimídia que estavam por vir, a UIT (União Internacional de Telecomunicações) iniciou o estudo de um sistema internacional denominado IMT (*International Mobile Telecommunication*) – 2000 que seria a terceira geração (3G) (HOLMA; TOSKALA, 2004).

1.1.3 Os Sistemas Celulares de Terceira Geração (3G)

Os sistemas celulares de terceira geração (3G) foram idealizados, conforme a UIT, para promover serviços multimídia de alta velocidade em banda larga, tráfego assimétrico, *roaming* global e alta flexibilidade para a implementação de novos serviços. São objetivos da terceira geração:

- Utilização de faixas de frequências comuns;
- Serviços com *QoS (Quality of Service)* garantidos;
- Ampla cobertura;
- Maior integração com a rede fixa;
- Interoperabilidade com as redes celulares existentes (arquitetura aberta);
- Terminais adaptativos;
- Alto grau de padronização no *design* de equipamentos;
- Compatibilidade entre os serviços oferecidos pelas redes fixas e aqueles definidos pelas normas do IMT-2000;
- Adoção de terminais leves e compactos com capacidade de *roaming* mundial;
- Utilização de redes comutadas a pacote.

Quanto aos serviços, prevê-se o suporte para quatro classes:

- A classe conversacional proporciona as aplicações de voz e outros serviços em tempo real;
- A classe *streaming* proporciona aplicações de fluxo contínuo de vídeo/áudio;
- A classe interativa proporciona serviços interativos;
- A classe *background* proporciona aplicações como transferência de arquivos, fax e *e-mail*.

As taxas de transmissão estabelecidas para os sistemas de terceira geração (3G) são:

- 2 Mbps para locais fixos;
- 384 kbps para pedestres;
- 144 kbps para usuários com alta mobilidade.

As duas arquiteturas de redes de terceira geração são a UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) e a CDMA 2000.

A UMTS, desenvolvida pelo 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) é uma evolução das redes GSM.

A CDMA-2000 baseia sua infraestrutura no cdmaOne, que é padronizada pelo 3GPP2 e seu protocolo de sinalização é o ANSI (*American National Standards Institute*) / TIA (*Telecommunication Industry Association*) e EIA-41 (*Electronic Industry Association*).

Como estas duas tecnologias possuem algumas diferenças, os desenvolvimentos de uma rede unificada ainda são uma questão a ser resolvida.

A técnica de acesso escolhida para a terceira geração (3G), é a WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), operando na faixa de 2 GHz, com banda de 5MHz para o UMTS e de 1,25MHz para o CDMA2000 (HOLMA; TOSKALA, 2004).

Na rota evolutiva para a terceira geração (3G) tem-se as tecnologias EDGE (*Enhanced Data rates for Global Evolution*) e CDMA 1X EV-DO (Evolution-Data Only)/EV-DV (*Evolution-Data and Voice*), desenvolvidas com base nas redes de segunda geração (2G) existentes, conforme está representado na figura 1.1.

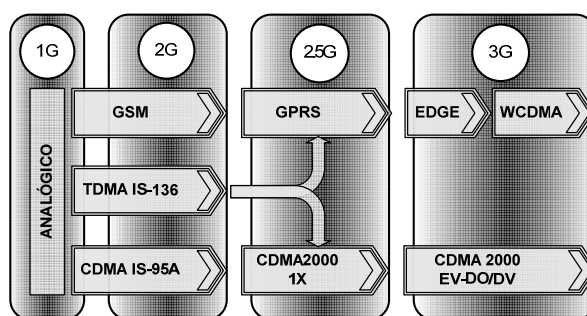


Figura 1.1 - Rota evolutiva dos Sistemas Celulares
Fonte: (SOUZA; BELLO, 2007).

1.1.4 Os Sistemas Celulares de Quarta Geração (4G)

As características fundamentais da proposta para a quarta geração de Sistemas Celulares (4G) são:

- Taxas muito maiores do que as oferecidas pela terceira geração (20 a 100 Mbps);
- Maior eficiência espectral através do uso de codificação e modulação adaptativas AMC (*Adaptative Modulation and Coding*);
- Faixa de frequências de 2 a 8 GHz com largura de banda de 100 MHz ou mais;
- Menor custo por *bit* transmitido;

- Redes e terminais móveis mais flexíveis, capazes de interoperarem com outras redes tais como WLAN (*Wireless Local Area Network*), HiperLAN2, família 802 do IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), através de *handoff* vertical.

Os sistemas celulares de quarta geração deverão fornecer serviços mais eficientes em conteúdo multimídia, tais como, vídeos, *Web browsing*, vídeo-conferência, que deverão ser personalizados e baseados em localização, manter a *QoS* para cada aplicação e convergir com sistemas de *broadcasting* digitais, como DVB (*Digital Video Broadcast*) e DAB (*Digital Audio Broadcast*).

Nos sistemas 4G, os canais deverão ser assíncronos, assim como a rede digital deverá ser totalmente baseada no protocolo IPv6 (*Mobile IP*), inclusive para o tráfego de voz. O uso do rádio deverá ser definido por *software* com possibilidades de reconfiguração do sistema sob demanda, com uso do esquema de código concatenado para correção de erros (SOUZA; BELLO, 2007).

A arquitetura de rede para os futuros sistemas 4G não mais será baseada apenas no conceito de cobertura celular, como ocorre atualmente. Espera-se que a 4G permita, preferencialmente, a utilização eficaz de serviços a altas taxas com qualidade assegurada. Para isso, os benefícios de outras tecnologias *wireless* serão aproveitados, fazendo com que a rede 4G real seja uma mistura de arquiteturas interoperáveis.

As Redes WLAN, Hiper LAN, DAB, DVB e a família 802 serão utilizadas nos locais onde já estão instaladas e onde puderem oferecer maior potencialidade de serviço em comparação com uma rede celular convencional.

A arquitetura da rede 3G instalada deverá ser aproveitada e a integração com a rede fixa será de extrema importância, podendo ser considerada como parte da rede 4G. A capacidade de se fazer *handoff* de uma rede para outra será, portanto, elemento chave para a concreta operacionalidade dos sistemas de quarta geração. As redes e tecnologias envolvidas devem ser criadas com um padrão aberto e universal de forma que permitam a contínua evolução dos sistemas e serviços, reduzindo a complexidade na integração dos sistemas a serem criados.

Elementos importantes que também fazem parte da arquitetura dos sistemas de quarta geração são as futuras estações HAPs (*High Altitude Platforms*). Estas são estações que, no futuro próximo, estarão localizadas a grandes altitudes, proporcionando amplas possibilidades de coberturas dedicadas.

Os terminais não serão apenas celulares, mas também PDAs, *Palms* e *Laptops* e serão desenvolvidos para operarem em multimodo e multibanda, aceitando conexões com as mais variadas redes e serviços. Deverão contar com uma avançada tecnologia de processamento de sinais DSP (*Digital Signal Processor*) e com baterias capazes de durar muito mais tempo do que os obtidos com outra tecnologia.

Para o cenário dos sistemas de quarta geração, novas tecnologias vêm sendo pesquisadas, como a UWB (*Ultra Wideband*), a MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) e as antenas adaptativas.

O sucesso das comunicações móveis do futuro dependerá da disponibilidade de serviços atrativos a custos razoáveis para o usuário. Para tanto, os sistemas de quarta geração fornecerão serviços de dados a altas taxas, bem como serviços de conexão permanente, o que será viabilizado com a perfeita interoperabilidade das redes e sucesso dos protocolos IP.

Os serviços serão disponibilizados em vários ambientes, com suporte a *handoff*, intra e inter-redes, ininterruptamente, em qualquer lugar e a qualquer momento, por meio da cobertura prevista pelos sistemas de quarta geração (4G).

A UIT prevê que haverá uma mistura de aplicações simétricas, assim como aplicações predominantemente *downstream* ou, predominantemente *upstream*, usando diferentes taxas de dados (UIT, 2003).

A utilização de mais banda pelos sistemas de quarta geração (4G) permitirá que as aplicações sejam muito mais ricas em conteúdo multimídia e mais diversificadas. A tabela 1.1 ilustra alguns exemplos destas aplicações (UIT, 2003).

Tabela 1.1 - Exemplos de aplicações em conteúdo multimídia

Aplicações	Exemplos
Comunicação	Chamada de voz, conversas, mensagens, <i>Web</i> .
Mobilidade	Localização (mapa de ruas), navegação.
Negócios	Bancários, shopping.
Entretenimento	Esportes, jogos, vídeos.
Tele-medicina	Consultas, tratamento.
Emergência	Localização do acidente, primeiros-socorros.
Utilidade Pública	Previsão do tempo, notícias.
Vida	Casa, alimentação, carro, estudos.

As chamadas de voz acrescidas de conteúdo multimídia, como vídeo e dados, permanecerão como os serviços mais utilizados. Serviços de mensagens curtas (SMS), serviços de mensagens multimídia e de mensagens instantâneas também terão grande destaque.

A quarta geração de telefonia móvel celular não está longe de se tornar uma realidade. Muitos de seus objetivos principais já foram traçados e muitas pesquisas estão sendo realizadas, em todo o mundo, na tentativa de se alcançar a interoperabilidade das redes de comunicações e novos serviços com a maior qualidade e diversidade.

Observou-se que, no entanto, ainda há muito trabalho a ser feito para a obtenção da perfeita universalização das redes e serviços. O objetivo da universalização é que, na quarta geração, não existam tecnologias proprietárias. Para tanto, é necessária a participação de órgãos padronizadores e instituições de pesquisa em nível mundial. Contribuições importantes estão sendo oferecidas pela NTT DoCoMo (Japão), que está liderando a evolução tecnológica nas comunicações sem fio. Ressalta-se que a UIT ainda não completou a definição oficial dos requisitos para os sistemas de quarta geração (4G) (SOUZA; BELLO, 2007).

Inquestionavelmente, as Comunicações Móveis Celular marcaram profundamente o comportamento social no último século. Após aproximadamente trinta anos do início da implantação e operação dos primeiros sistemas analógicos, a tecnologia dos sistemas celulares, em vertiginoso crescimento, incorporou-se de modo definitivo ao dia-a-dia de milhões de pessoas no mundo inteiro, que passaram a ficar imersas em ambientes cada vez mais servidos por radiações eletromagnéticas oriundos de diversos sistemas, como televisão, radiodifusão sonora (OC, AM, FM etc), sistemas de microondas, que podem, eventualmente, causar efeitos biológicos.

Os efeitos biológicos (que não devem ser confundidos com danos) têm sido sistematicamente alvos de comentários na mídia de grande penetração na população em geral, gerando preocupações, ações na justiça contra empresas operadoras e pressão nas autoridades municipais, para fiscalizar a implantação das ERB's (Estação Rádio Base), nas diversas cidades brasileiras.

Considerando apenas os efeitos térmicos, os níveis de radiação aos quais as pessoas podem estar submetidas passaram, então, a ser recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde). Alguns países, no entanto, como a Austrália, Canadá, China, França, Itália e Inglaterra estipularam limites para exposição à radiação bem abaixo daqueles recomendados pela OMS.

O governo britânico encomendou aos seus cientistas um estudo específico sobre tais efeitos biológicos, que gerou o “Relatório *Stewart*” com severas recomendações para evitar instalações de ERB’s, próximas às escolas e hospitais bem como a utilização de terminais celulares por crianças. O item 4.10.1 apresenta uma lista com exemplos de publicações geradas pelo Grupo independente *Dr. Stewart*.

1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é fazer uma análise comparativa dos Efeitos Biológicos causados por radiações não ionizantes, na faixa de telefonia celular, através de considerações técnicas das áreas de engenharia e biologia.

Para melhor compreensão do assunto, serão apresentados os resultados obtidos a partir de um Banco de Dados construído pela autora, contendo pesquisas publicadas nos últimos dez anos por instituições de pesquisa mundialmente respeitadas e renomados cientistas. Cerca de mil publicações foram analisadas. Após essa análise, foram selecionadas e cadastradas trezentas e noventa e sete publicações, priorizada a seleção por QUALIS A e B (é uma classificação feita pela CAPES-Portal Brasileiro de Informação Científica, dos veículos utilizados pelos programas de pós-graduação para divulgação da produção intelectual) (CAPES).

1.3 ESTRUTURA

Para atingir o objetivo acima estabelecido, no capítulo 1, foi apresentado de forma sucinta o histórico do desenvolvimento e a implantação do Sistema Móvel Celular até a quarta geração (4G), para contextualizar o assunto.

No capítulo 2, será descrito o sistema de terceira geração UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) sua arquitetura, protocolos, interfaces e serviços.

No capítulo 3, será apresentado o planejamento do sistema UMTS.

No capítulo 4, serão estudados os efeitos biológicos, o bioeletromagnetismo e apresentado um histórico dos efeitos biológicos causados pela radiação eletromagnética e, finalizando, os efeitos térmicos, não térmicos e as proteínas.

No capítulo 5, serão apresentados o banco de dados, a revisão sistemática e a metanálise.

No capítulo 6, serão apresentadas as conclusões.

2 SISTEMAS DE TERCEIRA GERAÇÃO (3G) – UMTS

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais sobre os novos sistemas móveis de terceira geração, sua arquitetura, interface aérea, protocolos e serviços com enfoque especial para o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). A ênfase nesta tecnologia justifica-se na medida em que é o sistema de terceira geração que vem se consolidando, mundialmente, como o mais promissor, sendo implantado por grandes operadoras de telecomunicações em diversos países, inclusive no Brasil. Os sistemas móveis de terceira geração possibilitam o acesso de dados a uma elevada taxa de transmissão e maior disponibilidade de serviços multimídia (HOLMA; TOSKALA, 2004).

2.1 ARQUITETURA UMTS

A arquitetura do sistema UMTS está mostrada na figura 2.1.

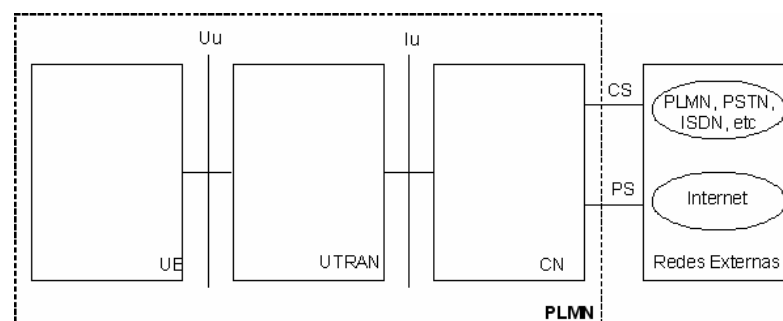


Figura 2.1 - Arquitetura do Sistema UMTS

Fonte: WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Comm.pdf. Holma e Toskala.

Uma forma mais ampla de se agrupar os elementos de rede de acordo com a sub-rede UMTS-PLMN (UMTS - *Public Land Mobile Network*).

As PLMN podem funcionar independentemente, conectadas com outras sub-redes PLMN, ou com outros tipos de rede como ISDN, PSTN e Internet, entre outros.

Outra forma de agrupar os elementos de rede é baseada na similaridade funcional entre eles, sendo agrupados em:

- **Equipamento do usuário** (*User Equipment - UE*), que é a interface entre o usuário e a interface de rádio;
- **Rede de Acesso-Rádio** (*UMTS Radio Access Network - UTRAN*), responsável por toda a funcionalidade de rádio;
- **Núcleo de Rede** (*Core Network - CN*), responsável pela comutação, roteamento e conexão com as redes externas.

Os elementos de rede que compõem uma PLMN são mostrados na figura 2.2.

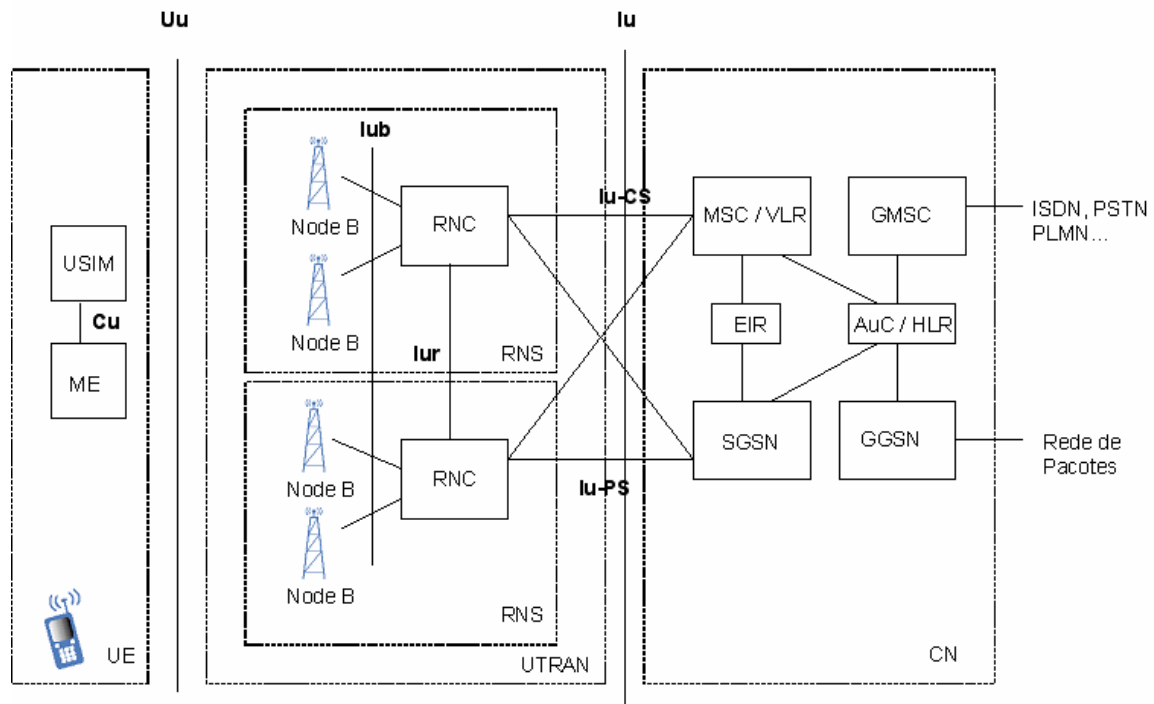


Figura 2.2 Elementos de rede de uma PLMN.

Fonte: WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Comm.pdf. Holma e Toskala.

2.1.1 Equipamento do Usuário (UE)

O equipamento do usuário é baseado nos mesmos princípios do terminal móvel GSM e consiste de 2 (duas) partes:

- O *Mobile Equipment* (ME) - Terminal de rádio usado para comunicação via interface Uu;
- O UMTS *Subscriber Identity Module* (USIM) - *Smartcard* que possui a identidade do usuário, realiza algoritmos de autenticação, armazena chaves de autenticação e criptografia, além de algumas informações do usuário necessárias para o funcionamento do terminal.

Os terminais móveis UMTS adotam uma gama muito versátil de configurações para serviços de voz, diferentemente dos outros modelos mais focados na transmissão de dados, como agenda eletrônica ou assistente pessoal digital PDA (*Personal Digital Assistant*). Outros modelos serão projetados para aplicações multimídia, dispendo de telas de maior tamanho e forma que facilitem o manuseio das aplicações deste tipo (com teclados, câmeras de vídeo, etc.).

Considerando que algumas operadoras dos sistemas de terceira geração serão as mesmas dos sistemas de segunda geração (2G), os terminais multimodo serão capazes de funcionar tanto em redes GSM como UMTS. Deste modo, será possível complementar as coberturas de ambos os sistemas, ou repartir os serviços entre eles.

2.1.2 Rede de Acesso-Rádio (UTRAN)

A UTRAN faz a mediação entre a interface aérea e a rede fixa. A UTRAN é subdividida em um conjunto de sistemas de rede de rádio RNS (*Radio Network System*). A RNS é composta de um RNC (*Radio Network Controller*), que realiza o controle, e de Nodos B conectados ao RNC.

Node B

O Node B é uma unidade física de transmissão e recepção de rádio nas células. Dependendo do setoreamento, uma ou mais células podem ser servidas por um Node B. O Node B é conectado a um UE através da interface de rádio WCDMA Uu e com a RNC via interface Iub, conexão baseada em ATM.

As principais funções do Node B são:

- Processamento de camada 1;
 - Codificação de canal (QPSK);
 - *Interleaving*;
 - Adaptação da taxa;
 - De espalhamento etc.
- Traduzir os dados do usuário e sinalização da interface Iub para o formato da interface Uu, e vice e versa;
- Realizar algumas operações de gerência de recursos de rede RRM (*Radio Resource Management*);
 - Medição da qualidade e da força da conexão e determinação da taxa de erro de frame (FER), transmitindo estes dados para o RNC como um relatório de medidas, que são utilizadas na decisão de *handover* e macrodiversidade;
 - Controle de Potência via *Inner Loop (Inner Loop Power Control)* etc.
- Correção de erro FEC (*Forward Error Control*).

RNC

O *Radio Network Controller (RNC)* é um elemento de rede equivalente à BSC, da arquitetura GSM, fornecendo um controle central dos elementos que compõem a RNS. O RNC é responsável pela operação e manutenção (O&M) centralizada de toda a rede RNS.

O RNC é acessado nos OSS (*Operation Support System*), que são centros de operação e manutenção (OMCs) usados para a operação centralizada, administração e tarefas de administração remota (OAMs).

O RNC é conectado ao Node B via interface Iub a outro RNC via interface Iur e ao CN via interface Iu. O RNC realiza o intercâmbio de protocolos entre estas interfaces. Os

dados comutados a circuito e os dados comutados a pacote, vindos das interfaces Iu-CS e Iu-PS respectivamente, são multiplexados juntos para a transmissão multimídia e, então enviados através das interfaces Iur, Iub e Uu para o usuário. E os dados vindos do usuário, em formato multimídia, são separados no RNC em dados comutados a circuito e os dados comutados a pacote para serem enviados ao CN.

A RNC que controla uma Node B é indicada como *Controlling RNC (CRNC)* da Node B. Uma CRNC é responsável pelo controle de carga e congestionamento da célula, e também executa o controle de admissão e alocação de código para os novos enlaces de rádio a serem estabelecidos.

A UE após conectar com o UTRAN, através do CRNC, a conexão UE-UTRAN poderá passar a utilizar recursos de mais de uma RNC, por exemplo, no caso de *soft handover*. Neste caso, as RNC's envolvidas assumem dois papéis lógicos separados:

- *Serving RNC (SRNC)* é a RNC responsável por terminar um enlace Iu, tanto para transporte de tráfego de usuário como de sinalização entre o UTRAN e o CN. Como também termina a sinalização RRC (*Resource Control Signalling*), que é o protocolo de sinalização entre o UE e o UTRAN. O SRNC ainda realiza processamento de camada 2, gerenciamento de recursos de rádio (RRM), decisão de *Handover*, Controle de Potência via *Outer Loop (Outer Loop Power Control)*. O SRNC pode ser ou não a CRNC que foi utilizada pelo UE para conectar com o UTRAN. Um UE tem 1 e só 1 SRNC conectado a ele.
- *Drift RNC (DRNC)* é qualquer RNC, com exceção do SRNC, que controla o uso pela UE da célula. O DRNC não realiza processamento de camada 2, mas faz roteamento transparente entre as interfaces Iub e Iur (exceto quando o UE está usando um canal de transporte comum ou compartilhado). O DRNC pode também realizar macrodiversidade. Um UE pode ter zero, 1 ou mais DRNC's.

2.1.3 Núcleo de Rede (*Core Network*)

No *Core Network (CN)* os elementos envolvidos são semelhantes funcionalmente à tecnologia GSM, exceto alguns detalhes. Os elementos UTRAN terão uma maior revolução na transição para a 3^o geração da telefonia móvel, tendo o CN mudanças menos significativas.

O *Core Network* é dividido em dois domínios: comutado a circuitos e comutado a pacotes. Os elementos comutados a circuitos são *Mobile services Switching Centre* (MSC), *Visitor Location Register* e *Gateway MSC*. Os elementos comutados a pacotes são *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e *Gateway GPRS Support Node* (GGSN). Alguns elementos da rede como *Equipment Identity Register* (EIR), *Home Location Register* (HLR) e *Authentication Center* (AUC) compartilham ambos os domínios.

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é definido para transmissão do CN-UMTS. O protocolo de adaptação ATM AAL2 (*ATM Adaptation Layer type 2*) permite conexão comutada a circuitos e o protocolo de conexão a pacotes AAL5 é desenhado para entrega de dados.

MSC/VLR

MSC/VLR (*Mobile Service Switching Centre / Visitor Location Register*) é o comutador (MSN) e o banco de dados (VLR) que servem o UE em sua localização atual para serviços de comutação de circuito CS (*Circuited Switched*). A função do MSC é a de comutar as transações CS, e a função do VLR é armazenar uma cópia do perfil dos serviços que o usuário possui, assim como uma informação mais precisa da localização do UE dentro do sistema que o está servindo. A parte da rede que é acessada via MSC/VLR é normalmente referida como domínio CS. A MSC também tem a função de realizar as primeiras configurações com o UE.

GMSC

GMSC (*Gateway MSC*) é o comutador onde a UMTS PLMN se conecta com as redes de CS externas. Todas as conexões externas CS de entrada e saída passam pelo GMSC.

HLR

HLR (*Home Location Register*) é o banco de dados localizado na rede a que o usuário pertence. Ele armazena a cópia principal do perfil de serviços do usuário. O perfil de serviços consiste, por exemplo: informações dos serviços permitidos, áreas proibidas de *roaming* e informações de serviços suplementares, tal como *Call Forwarding*. O perfil é criado quando um novo usuário se registra no sistema e permanece armazenado enquanto o registro

permanecer ativo. Com objetivo de roteamento das transações de entrada no UE (ex. Ligação e SMS), o HLR também armazena a localidade do UE no nível de MSC/VLR e/ou SGSN.

SGSN

SGSN (*Serving GPRS Support Node*) é tipicamente usado para serviços de comutação de pacotes PS (*Packet Switched*). A parte da rede, acessada via SGSN, é normalmente referenciada como domínio PS. Assim como o MSC, o SGSN suporta as primeiras necessidades para a manipulação das operações com o UE.

GGSN

GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) é relacionado com serviços de comutação de pacotes.

EIR

EIR (*Equipment Identity Register*) é responsável pelo armazenamento de informações sobre os EU's, como o número serial (*International Mobile Equipment Identity*) de cada ME, que podendo ser consultado pelo MSC para negação de serviço a terminais inválidos, por exemplo, no caso de aparelhos roubados.

AUC

AUC (*Authentication Center*) é responsável pela geração e armazenamento das chaves secretas usadas para identificação e autenticação dos usuários.

2.1.4 Interfaces

As Interfaces UMTS são interfaces abertas, o que possibilita os elementos serem de diferentes fabricantes e mesmo assim possuírem interoperabilidade. As interfaces são:

- Interface Cu - É uma interface elétrica entre o USIM e o ME. A interface segue o formato padrão para *smartcards*;
- Interface Uu - É a interface de radio WCDMA. A Uu é a interface através no qual o UE acessa a parte fixa do sistema, e por isto provavelmente a mais importante interface do UMTS;
- Interface Iu - Conecta a UTRAN com o CN. É dividida em Iu-CS para serviços de comutação de circuitos CS (*Circuited Switched*) e Iu-PS para serviços de comutação de pacotes PS (*Packet Switched*);
- Interface Iur - Permite *soft handover* entre RNCs;
- Interface Iub - A Iub conecta a Node B e a RNC.

Mais detalhes das interfaces serão vistos no capítulo sobre Arquitetura de protocolos.

2.1.5 Redes Externas

As redes externas podem ser divididas em dois grupos:

- Redes de comutação por circuitos (CS). Estas provêm conexões de CS, como serviços de telefonia existente. ISDN e PSTN são exemplos de redes CS.
- Redes de comutação por pacotes (PS). Estas provêm conexões de PS. A Internet é um dos exemplos de rede PS.

O PLMN pode estar também conectado a outro PLMN e também a outras redes de telefonia móvel como o GSM (DURÇO, 2007).

2.2 PROTOCOLOS

Para esta interface recorre-se à técnica de acesso CDMA.

Uma técnica de acesso rádio é basicamente uma maneira de conseguir que várias transmissões compartilhem o mesmo espaço aéreo, sem interferências.

A interface rádio UMTS estrutura-se com base nos componentes FDD (*Frequency Division Duplex*) e TDD (*Time Division Duplex*).

Um dos aspectos de semelhança entre FDD e TDD é a estrutura do protocolo rádio, que se estabelece conforme o modelo de camadas OSI, conforme a figura 2.3.

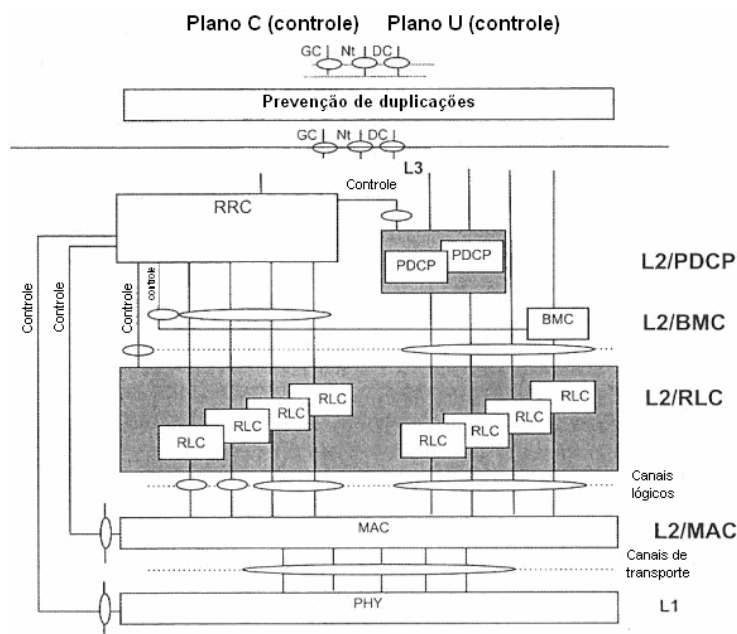


Figura 2.3 - Estrutura do protocolo da interface-rádio

Fonte: The UMTS Network and Radio Access Technology - Air interface.pdf. Jonathan P. Castro.

O total de camadas do modelo OSI são três. Estas camadas interveêm na interface rádio:

- Física (L1)
- Enlace (L2)
- Rede (L3)

A estrutura se completa com uma divisão vertical nos planos denominados de controle (C) e de usuário (U). O plano C contém os aspectos ligados à sinalização do sistema, enquanto o plano U aborda os aspectos relativos a tráfego entre os usuários.

A camada L1 é encarregada dos processos necessários para transmitir a informação pelo meio correspondente, neste caso, o rádio.

A camada L2 tem a missão de oferecer, a partir dos recursos de transmissão que a camada física põe ao seu dispor, um serviço de transmissão livre de erros à camada superior.

No caso do UMTS, esta camada se divide em duas, a primeira subcamada de dados é a MAC (*Medium Access Control*) que basicamente engloba os protocolos relativos à gestão do

acesso aos recursos entre os usuários que competem em um sistema multi acesso, mediante mecanismo de acesso aleatório, no caso do UMTS.

Acima da subcamada MAC, encontra-se a subcamada RLC (*Radio Link Control*) encarregada de oferecer um serviço de transmissão de dados para a camada de rede.

Acima da subcamada RLC, ainda existem mais duas subcamadas: a BMC (*Broadcast/multicast Control Protocol*) e a PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*).

A subcamada BMC contém o protocolo que regula a transmissão da informação relativa aos serviços de *broadcast* geral ou *multicast* sobre a interface rádio.

A subcamada PDCP e a BMC são aplicáveis somente no domínio de modo pacote. O protocolo do PDCP objetiva comprimir os pacotes provenientes da camada superior para melhorar a eficiência espectral (pois geralmente os protocolos empregados como o IP, apresentam excessiva parcela de cabeçalho frente à parcela de dados válidos).

Acima da camada L2, encontra-se a camada L3 de rede, com objetivo de conseguir que os pacotes de informação alcancem seu destino. Também encontraremos situados na interface rádio, diversos processos de controle de enlace.

A camada L3 se subdivide em três subcamadas:

- Gestão dos recursos rádio RRM (*Radio Resource Management*);
- Controle de chamadas CC (*Call Control*);
- Gestão da mobilidade MM (*Mobility Management*).

Entre as três, apenas a RRM está diretamente ligada aos elementos da rede de acesso, RNC e Nó B.

Nesta estrutura de camadas, além das próprias camadas e subcamadas presentes, destacam-se também os pontos de interligação entre elas. São os chamados SAP (*Service Access Point*). Através dele as camadas e subcamadas inferiores prestam serviços às superiores.

2.2.1 Canais Lógicos do Sistema

Na primeira das camadas, estabelecem-se os canais lógicos, enquanto na segunda, definem-se os canais de transporte. Por último, a camada física transporta as informações através dos canais físicos.

Os canais lógicos são definidos pelo tipo de dados que transmitem. Dividem-se nas classes de controle e de tráfego.

Os canais de transporte definem como e com que características a informação é transmitida, atendendo a uma série de atributos próprios do planejamento na camada física. Estes canais se dividem em duas classes: comuns e dedicados.

Existe uma correspondência entre os canais lógicos e os de transporte.

Os canais físicos se caracterizam pelo formato com que estes são transmitidos no meio rádio.

Com relação aos canais de transporte, é preciso notar que, por ser o UMTS um sistema muito flexível que permite estabelecer, manter e encerrar diferentes conexões simultâneas com um mesmo terminal móvel, estas conexões podem estabelecer-se mediante canais de transporte independentes uns dos outros ou multiplexados em um só canal de transporte.

2.2.2 Bandas de Funcionamento e Largura de Banda de RF

As bandas atualmente usadas foram definidas na Conferência Mundial de Radiocomunicações de 1992, onde foi decidido que a atribuição de espectro para os sistemas IMT-2000 pertence ao UMTS. Posteriormente, no Acordo de Paris ficou estabelecido que este sistema se estruturasse nos componentes FDD e TDD, com a divisão no uso das bandas IMT-2000 (TAMURA et al., 2003).

Esta distribuição supõe a disponibilidade de 60 + 60 MHz para a componente FDD e de 15 + 20 MHz para a componente TDD. Tendo em conta que a largura de banda dos canais RF em qualquer das componentes é de 5 MHz, então se traduz em 12 portadoras FDD e 7 TDD.

Existem outras bandas estabelecidas na Conferência Mundial de Radiocomunicações do ano 2000. Estas bandas se identificam com base no reconhecimento de que em muitos Países são utilizadas atualmente para o suporte de redes de serviço. Por isso, a UIT deixa a critério das administrações a decisão sobre o momento e a forma de destinar estas bandas à Terceira Geração.

2.2.3 Transmissões e Taxa de Chip

Os dois componentes FDD e TDD da interface rádio UMTS tem um aspecto em comum que é a forma em que organizam suas transmissões. Em ambos, as transmissões se estruturam em quadros de 10 ms de duração, compostos por 15 intervalos (*time slots*) de transmissão. Os quadros se agrupam em superquadros de 72 quadros, 720 ms de duração.

Um intervalo de transmissão contém 2560 chips, se traduz em uma taxa de chip de 3,84 Mchip/s, conforme mostra a figura 2.4.

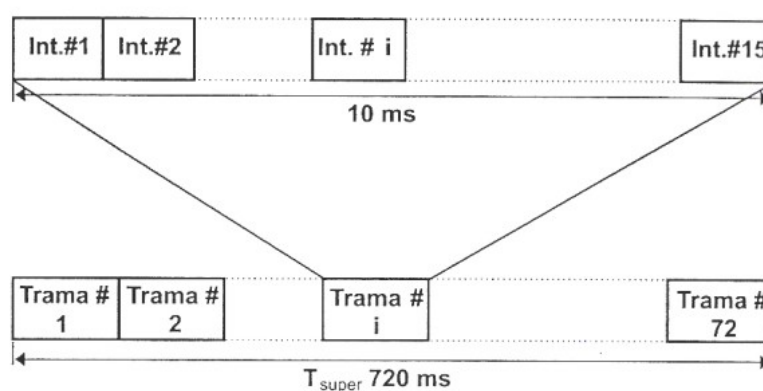


Figura 2.4 - Estrutura comum nas transmissões UMTS
Fonte: GSM, cdmaOne and 3G Systems - John Wiley.pdf.

2.3 SERVIÇOS

As redes UMTS são projetadas desde o começo para entrega flexível de qualquer tipo de serviço, onde cada novo serviço não requer uma otimização particular da rede.

Além da flexibilidade, a solução rádio do WCDMA traz capacidade avançada que permite novos serviços. Algumas destas capacidades são as que seguem.

Alta taxa de *bits*, teoricamente maior que 2Mbps no 3GPP versão 99 e maior que 10Mbps no 3GPP versão 5. Na prática as taxas de *bits* são maiores que 384 kbps inicialmente e maiores que 2 Mbps na versão 5, (*Generation Partnership Project*) ressaltando:

- Baixo atraso no tempo de transmissão de pacotes – menor que 200 ms;
- Livre mobilidade para aplicações de dados por pacote;

- Qualidade de Serviço diferenciado para melhorar eficiência dos serviços oferecidos;
- Capacidade simultânea para voz e dados;
- Interoperabilidade com as redes GSM / GPRS.

Assim, o enfoque do UMTS tem sido o de evitar um problema que ocorre nos sistemas de segunda geração (2G), a excessiva especificação, tendo como consequência uma maior dificuldade na hora de conseguir que as operadoras possam diferenciar-se entre si, em algo mais que não seja o preço dos serviços. Por isso, procura-se especificar somente os mecanismos com os quais se constroem os serviços, deixando a definição destes nas mãos do mercado.

Os sistemas de terceira geração marcam o início de uma nova era em matéria de serviços móveis de telecomunicações. Um elemento importante neste novo cenário são as APIs (*Application Program Interfaces*) que fazem menção a uma linguagem de programação, com base na qual entidades terceiras possam desenvolver serviços para uma rede que os suporte, sem necessariamente conhecer os detalhes de funcionamento desta rede.

Um caso concreto de API é a arquitetura aberta de serviços OSA (*Open Services Access*) que está sendo especificada pelo 3GPP (*Generation Partnership Project*). Trata-se de uma API pensada para proporcionar um acesso aberto e normalizado ao desenvolvimento de aplicações para redes UMTS. Neste aspecto, as operadoras podem decidir se fazem ou não uso dela.

Outro conceito importante para provisão dos serviços de terceira geração é o ambiente virtual VHE (*Virtual Home Environment*) que basicamente consiste em oferecer aos usuários, em ambiente de interação com os serviços UMTS, de características homogêneas e constantes independentemente da rede que o usuário se encontre.

Há uma percepção geral de que os serviços de voz seguirão tendo um papel importante durante bastante tempo, mas que deixará de ser preponderante nos sistemas projetados para satisfazer um mercado orientado para dados.

Os serviços de conversação são os serviços em tempo-real, geralmente bidirecionais e com fortes exigências quanto a retardos, que devem ser baixos e constantes. São exemplos deste tipo de serviço: a voz, a videoconferência e os vídeo-jogos.

Os serviços afluentes (*Streaming*) são os serviços unidirecionais, nos quais um usuário recebe uma seqüência de dados que contém um sinal de voz ou visual. Nesta classe, os baixos valores de retardo não são essenciais, mas é necessário que estes sejam constantes. Um

exemplo desta aplicação é a transmissão de imagens de vídeo procedentes de câmeras conectadas via UMTS com um centro de supervisão.

Os serviços interativos são os que correspondem aos casos em que o usuário requer dados de um equipamento remoto. Nestes é importante não ocorrer excessivos retardos assim como preservar uma baixa taxa de erro. Exemplos desta categoria são: a navegação *web* e a consulta de bases de dados, conectadas via UMTS (SOUZA; BELLO, 2007).

2.4 ARQUITETURA DE SEGURANÇA

A segurança é parte essencial no UMTS, para que este sistema possa oferecer uma confiável estrutura de rede do ponto de vista do assinante. A segurança no UMTS evoluiu dos princípios usados na tecnologia GSM através de um aprimoramento desta técnica devido às falhas percebidas na sua arquitetura de segurança.

O UMTS integra mecanismos de segurança para refletir a natureza do tráfego que a rede transporta, aproveitando a experiência com segurança na Internet. O sistema UMTS tem uma vantagem fundamental sobre outras redes como, por exemplo, a Internet, tendo em vista que ela utiliza o módulo de identificação do usuário do serviço USIM que é um cartão que contém a chave, armazenada também no ambiente HLR/AuC.

As chaves usadas neste sistema usam um padrão de 128 *bits*, onde se assume que atualmente não pode ser quebrada por tentativas. Neste tipo de ataque, tentam-se todas as combinações de chaves possíveis até o acerto e há probabilidade de um acerto ocorrer depois que 50% das chaves forem experimentadas. Um comprimento chave de 128 *bits* gera bastantes chaves possíveis (2128) o que levaria a um esforço de tempo inviável. A adição de um *bit* extra ao comprimento da chave dobra o número das chaves possíveis. Naturalmente os ataques podem ser feitos de outras maneiras, procurando fraquezas nos algoritmos usados. Todo o sistema seguro deve fornecer a seguinte estrutura para a proteção do usuário:

- Privacidade em assegurar que somente os autorizados possam ler a informação;
- Autenticação provando a identidade do remetente da mensagem;
- Integridade dos dados em assegurar que dados não possam ser alterados sem detecção;
- Capacidade de provar que uma mensagem foi enviada, geralmente informando quando foi emitida.

A tecnologia GSM manteve os seguintes serviços:

- Autenticação do usuário;
- Criptografia da interface rádio;
- Confidencialidade da identidade do usuário;
- Módulo de segurança de hardware independente (SIM).

O UMTS não especifica os algoritmos particulares que devem ser usados, mas inclui uma série de algoritmos padrões experimentados e confiáveis dentro de uma estrutura que permita que outros algoritmos sejam introduzidos. Os algoritmos incluídos dentro das especificações são os baseados no algoritmo de cifragem de bloco de *Kasumi*, este dá forma também à base do algoritmo da criptografia A5/3, que foi introduzido recentemente ao GSM. Ao contrário dos algoritmos de segurança usados no GSM, que foram desenvolvidos em segredo, o algoritmo de *Kasumi* é bem definido e foi exposto a rigorosos testes por toda a comunidade. O algoritmo de *Kasumi* é uma variante do algoritmo de *MISTY* o qual foi desenvolvido pela Mitsubishi em 1995.

A proteção do usuário no aparelho móvel é dada no USIM. O usuário pode limitar o acesso ao USIM através de uma senha configurada por ele a qual será usada, ao ligar o aparelho, para ativação do cartão. O USIM é armazenado no UICC, como também é feito no GSM. Neste cartão encontra-se a chave mestra do usuário que é um módulo protetor contra acesso direto aos dados que foram armazenados.

2.4.1 Confidencialidade da Identidade do Usuário

No UMTS, são demonstradas não só a identificação do usuário que é a IMSI mas também sua localização, viabilizadas através do uso de identidades provisórias tais como TMSI/P-TMSI sempre que possível. Acrescenta-se que, uma vez estabelecida uma relação de segurança, a rede pode periodicamente alterar esta identidade temporária no sentido de evitar o uso da mesma identidade por um longo período. Qualquer mensagem de sinalização que possa potencialmente revelar a identidade do usuário é criptografada.

2.4.2 Autenticação

O UMTS fornece uma autenticação mútua de usuário e de rede. Este processo garante que não somente a rede se assegure de que somente os usuários autorizados podem acessá-la, como também os usuários validam se a rede a que estão conectando é autorizada também pela rede local usuário. Este não pode parecer inicialmente um ponto tão importante dentro do contexto GSM. A economia atual não justificaria a aquisição de uma BTS para ouvir secretamente conversas de usuários. Entretanto, para a estrutura 3G muitas tecnologias diferentes de acesso rádio podem ser integradas no sistema.

Isto significa que, no futuro, um ponto de acesso LAN sem fio poderá fornecer acesso ao usuário para este tipo de serviço.

Uma vez que um novo usuário tenta acessar a rede, por exemplo, para atualizar a sua localização na mesma, o VLR/SGSN irá enviar um pedido de autenticação para a HLR/AuC, identificando o seu usuário através de seu IMSI. A HLR irá então usar a chave do usuário K, para gerar um conjunto de n vetores de autenticação, os quais irão retornar para a VLR/SGSN.

Um vetor de autenticação consiste:

- Número randômico RAND;
- Resposta esperada XRES;
- Chave de criptografia CK;
- Chave de integridade IK;
- *Token* de autenticação AUTN.

2.4.3 Confidencialidade do Sistema

A criptografia dos dados num acesso rádio é realizada em duas camadas possíveis dentro dos protocolos de acesso rádio. Para os modos RLC de reconhecimento (*acknowledged*) e de não-reconhecimento (*unacknowledged*) são executados na camada de RLC e para a modalidade transparente de RLC na camada MAC.

UMTS realiza a criptografia usando o *stream cipher* (algoritmo de bloco) onde o algoritmo de criptografia gera um *keystream*, no qual é somado *bit a bit* ao texto original para gerar um texto cifrado. Esta proteção existe para garantir a confidencialidade e pode ser feita tanto em mensagens de dados como de sinalização.

Os campos do algoritmo são:

- *Count-C* – este é um contador de cálculo de 32 *bits* para checagem de integridade;
- *Bearer* – este é um identificador de 5 *bits* do que está sendo cifrado, para evitar *keystreams* idênticos para pacotes diferentes do mesmo usuário;
- *Direction* – novamente este é um campo de 1 *bit* que indica se a mensagem de sinalização é do UE para a RNC (0) ou da RNC para o UE (1);
- *Length* – é um campo de 16 *bits* que indica o comprimento requerido do bloco do *keystream* a ser gerado (ZAHARIADIS, 2004).

No capítulo 3, será apresentado o modelo de planejamento do sistema UMTS, onde utilizará a arquitetura descrita neste capítulo.

3 PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS UMTS

Neste capítulo serão abordados a evolução, a padronização e o planejamento técnico para implantação de uma rede-rádio CDMA-UMTS.

3.1 EVOLUÇÃO DO UMTS

A evolução dos sistemas UMTS é uma realidade. Seguindo o caminho natural das telecomunicações modernas, a rede móvel possui a tendência de se tornar uma rede de dados. Na prática, isto significa que a tradicional comutação de circuitos da telefonia passa aos poucos a ser substituída ou pelo menos a cooperar com redes de comutação de pacotes.

O processo evolutivo dos Sistemas GSM ocorreu a partir das redes GPRS e EDGE. Na rede de 3ª geração UMTS essa evolução se dá através dos sistemas HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) seguido pelo HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*) formando, assim, redes HSPA (*High Speed Packet Access*).

A evolução da tecnologia de rede baseada nos conceitos do LTE (*Long Term Evolution*) procura atender aos quatro requisitos básicos enunciados a seguir:

- Suporte apenas para o domínio PS (*Packet Switching*), deixando de existir, no UMTS, o domínio CS (*Circuit Switching*) o principal responsável pela execução do serviço de telefonia tradicional. As chamadas telefônicas serão desenvolvidas no PS via a tecnologia VoIP;
- Possibilidade do uso de bandas passantes superiores e inferiores à atual de 5MHz;
- Níveis reduzidos de latência com RTTs menores do que 5ms para bandas passantes de 5MHz ou maiores e 10ms para bandas menores do que 5MHz;
- Custo reduzido para o sistema.

3.2 PADRONIZAÇÃO DO UMTS

O principal organismo internacional que define a padronização do UMTS é o 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) composto por representantes de diversas companhias que possuem interesses na área de sistemas móveis (fabricantes, empresas operadoras, e outras). Periodicamente são disponibilizados *Releases* que apresentam as principais conclusões dos estudos realizados no período em questão, na forma de Recomendações. O histórico destes *Releases* encontra-se representado na figura 3.1.

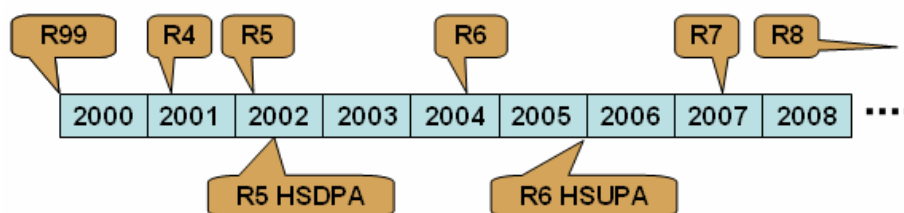


Figura 3.1 - Evolução da Padronização
 Fonte: VALE, HSPA/Sumário Executivo. 28/09/2007.

O Release 7 foi completado recentemente tendo sido abordados os seguintes tópicos evolutivos da tecnologia:

- Padronização de um novo receptor que possibilita um tratamento mais eficaz para o cancelamento de interferências provenientes de usuários operando fora da célula servidora;
- Utilização de esquemas de modulação de ordem superior (HOMs - *Higher Order Modulations*) tal como o 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) na direção *downlink* quando não for possível, a utilização da tecnologia de antenas denominada MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) (SOUZA; BELLO, 2007) e o 16-QAM na direção *uplink* (VALE, 2007);
- Estabelecimento de condições que conduzam ao oferecimento para o usuário de dados, da facilidade de permanecer conectado à rede de forma contínua (CPC- *Continuous Packet Connectivity*) tal como ocorre com o usuário de serviços de acesso baseados na tecnologia XDSL (*X Digital Subscriber Line*) aplicada às redes fixas;

- Deslocamento de funções da UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) para as estações rádio-base (*Node B*), definindo-se a nomenclatura HSPA+ para esta nova arquitetura. Como benefício imediato desta alternativa tem-se a redução da latência para os serviços de dados.

A combinação da modulação 64-QAM com a tecnologia MIMO pode levar a taxas de 42 Mbps na direção *downlink*, enquanto que o 16-QAM poderá contribuir para o alcance de 11 Mbps na direção *uplink* (valores de pico). Estes estudos estão sendo desenvolvidos no Release 8 em conjunto com as alternativas para definição de uma nova arquitetura mais compacta para o PS (*Packet Switching*) denominada EPS (*Evolved Packet System*) capaz de fornecer acessos também para equipamentos de outras tecnologias de sistemas móveis que não estejam baseadas no 3GPP (*Generation Partnership Project*) como, por exemplo, o WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Baseado nos estudos do âmbito do 3GPP denominados sob a sigla LTE (*Long Term Evolution*) define-se uma nova arquitetura para a interface aérea da UTRAN (EUTRAN - *Evolved UTRAN*). Após estudos realizados com diversas tecnologias modernas de acesso o 3GPP concluiu pela adoção para o PS da tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) para ser utilizada na direção *downlink* e a SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*) para a direção *uplink*.

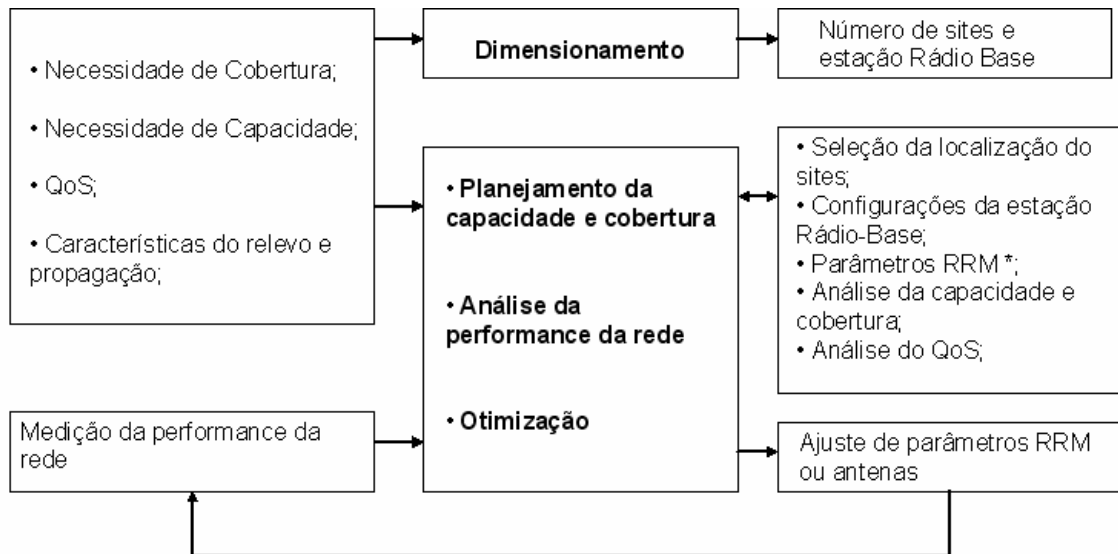
A UIT prevê que haverá uma mistura de aplicações simétricas assim como aplicações predominantemente *downstream* ou predominantemente *upstream* usando diferentes taxas de dados. Estimativas desta mistura de tráfego estão descritas no *Report UIT* (UIT, 2003).

As operadoras de banda A e B já possuem frequências aptas para a introdução dos sistemas de terceira geração nas frequências de 850 MHz, mas com coberturas muito diferentes entre elas.

As outras frequências citadas (1,9 GHz e 1,9-2,1 GHz) irão permitir a implantação do padrão EvDo (em 1,9GHz – Banda L) e do WCDMA (em 1,9-2,1GHz). (VALE, 2007)

3.3 PLANEJAMENTO DA REDE WCDMA-UMTS

O planejamento de uma rede WCDMA-UMTS normalmente é feito seguindo-se o diagrama em blocos mostrado na figura 3.2.



* RRM – Gerenciamento dos recursos de rádio (Radio Resource Management)

Figura 3.2 - Processo de planejamento da rede WCDMA
Fonte: JOACHIN, 2006. Apostila.

No dimensionamento das redes WCDMA são estimados: quantidade e parâmetros de configuração dos equipamentos de rede, número de *sites*, cobertura e capacidade. As estimativas são feitas baseadas nas necessidades de operação, que são (TOSKALA, 2004):

Cobertura

- Área de cobertura;
- Informação do relevo;
- Condições de propagação.

Capacidade

- Disponibilidade de espectro;
- Estimativa do crescimento do número de usuários;
- Informações da densidade do tráfego.

QoS

- Probabilidade de Cobertura;
- Probabilidade de Bloqueio;
- *Throughput* do usuário.

3.3.1 Cálculo do Enlace-rádio

No cálculo do enlace-rádio serão analisados separadamente o *downlink*, e o *uplink*. Na tabela 3.1, estão apresentados os parâmetros e variáveis utilizados para o cálculo do enlace (JOACHIM, 2006).

Tabela 3.1- Parâmetros e variáveis para cálculo de Enlace

		#	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>		
	Taxa de Dados do Usuário	kbps	1	$R_{b,j}$	$R_{b,j}$	
	Taxa de Chip	kbps	2	$R_c = 3,84Mchip/s$	$R_c = 3,84Mchip/s$	
TRANSMISSOR	Máxima Potência de Transmissão	W	3	Potência P_T transmitida pela Node B	Cada UEj possui potência de saída $P_{t,j}$.	
	β (Porção de potência dos canais comuns)		4	β		
	Potência para canais dedicados	W	5	$(1 - \beta)P_T$		
		dBm	6	$10\log(\#5/10^{-3})$	$10\log(P_{t,j}/10^{-3})$	
	Perda do Cabo	dB	7	L_c	L_c	
	Perda do Filtro	dB	8	L_f	L_f	
	Ganho da antena	dBi	9	G_a	G_a	
	Potência Efetivamente Transmitida (EIRP)	dBm	10	$P_{T,e} = \#6 - \#7 - \#8 + \#9$	$P_{T,e} = \#6 - \#7 - \#8 + \#9$	
	RECEPTOR	Ruído Térmico	dBm/Hz	11	$10\log kT$	$10\log kT$
		Banda	Hz	12	R_c em Hz	R_c em Hz
		dBHz	13	$10\log\#12$	$10\log\#12$	
Figura de Ruído		dB	14	F_{DL}	F_{UL}	
Potência de Ruído Recebido		dBm	15	$P_N = \#11 + \#13 + \#14$	$P_N = \#11 + \#13 + \#14$	
Eb/No		dB	16	Depende do serviço e do canal	Depende do serviço e do canal	
Ganho de Processamento		dB	17	$G_{p,j} = R_c/R_{b,j}$	$G_{p,j} = R_c/R_{b,j}$	
Sensibilidade		dBm	18	$P_{r,min} = \#15 + \#16 - \#17$	$P_{r,min} = \#15 + \#16 - \#17$	
Perda no cabo da antena		dB	19	L_c	L_c	
Ganho da antena		dBi	20	G_a	G_a	
Ganho da Diversidade da Antena		dB	21	G_{Div}	G_{Div}	
Máxima Perda de percurso no espaço livre (sem carga)		dB	22	$L_0 = \#10 - \#18 - \#19 + \#20 + \#21$	$L_0 = \#10 - \#18 - \#19 + \#20 + \#21$	

Ganho <i>Soft Handover</i>	dB	23	G_{SHO}	G_{SHO}
Margem de Desvanecimento Rápido	dB	24	F_{PC}	F_{PC}
Margem de desvanecimento log-normal	dB	25	L_{indoor}	L_{indoor}
Perda <i>Indoor</i>	dB	26	L_{indoor}	L_{indoor}
Perda dentro do Carro	dB	27	L_{in-car}	L_{in-car}
Perda <i>Outdoor</i>	dB	28	$L_{outdoor}$	$L_{outdoor}$
Perda de percurso tolerável, considerando Margens, Ganhos e característica do usuário (sem carga)	dB	29	$L'_0 = \#22 + \#23 - \#24 - \#25 - \#26 - \#27 - \#28$	$L'_0 = \#22 + \#23 - \#24 - \#25 - \#26 - \#27 - \#28$
Fator de atividade (uso)		30	ν_j	ν_j
Alfa (Código de Ortogonalidade)		31	Não são ortogonais, porque UEs não são sincronizados no tempo	Canal ideal $\alpha = 1$ ITU Pedestre A $\alpha = 0,9$ ITU Veicular A $\alpha = 0,6$
Potência Total Recebida da própria célula	W	32	I_{own}	I_{own}
Potência Total Recebida das células Adjacentes	dBm	33	I_{other}	I_{other}
Potência Total Recebida (Apenas o sinal Desejado)	dBm	34	$P_{r,j}$	$P_{r,j}$
Potência Total Recebida	dBm	35	$I_{total} = I_{own} + I_{other} + P_N$	
Razão de Interferência (I_{other} / I_{own})		36	É um valor fixo para área desejada	É um valor fixo para área desejada
Perda de Caminho na própria célula	dB	37	$L_m^{(DL)}$	$L_m^{(UL)}$
Perda de Caminho nas outras células.	dB	38	$L_n^{(DL)}$, tal que $m \neq n$	$L_n^{(UL)}$, tal que $m \neq n$
Fator de Carga Específico ao serviço		39	$\lambda_j^{(DL)}$	$\lambda_j^{(UL)}$
Fator de Carga específico a célula		40	$\eta_j^{(DL)}$	$\eta_j^{(UL)}$
Margem de interferência	dB	41	F_{int}	F_{int}

Capacidade de Pólo (Máximo n° de conexões simultâneas por célula)		42	$C_{max}^{(DL)}$	$C_{max}^{(DL)}$
<i>Throughput</i> da célula	kbps	43	$R_{cell}^{DL} = \sum_{j=1}^N R_{b,j}^{DL}$	$R_{cell}^{UL} = \sum_{j=1}^N R_{b,j}^{UL}$
Dimensão da célula	km	44	R	R
Aumento do Ruído (<i>Noise Rise</i>)	dB	45	NR_{DL}	NR_{UL}

Serão deduzidas, agora, as equações que serão utilizadas no cálculo dos radioenlaces, em função da carga. Considerando que:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_e = \frac{P_{r,j} G_{p,j}}{(I_{total} - P_{r,j}) \cdot v_j} \quad (1)$$

Obtem-se:

$$P_{r,j} = \frac{1}{1 + \frac{G_{p,j}}{v_j \left(\frac{E_b}{N_0}\right)}} I_{total} = \lambda_j I_{total} \quad (2)$$

Sendo λ_j o fator de carga específico do serviço:

$$\lambda_j = \frac{1}{1 + \frac{G_{p,j}}{v_j \left(\frac{E_b}{N_0}\right)}} \quad (3)$$

Ressalta-se que $G_{p,j}$ e o v_j são dependentes do serviço a ser oferecido pelo sistema.

A potência total do sinal é dada pela seguinte equação:

$$I_{total} = P_N + I_{other} + I_{own} \quad (4)$$

Reorganizando a equação tem-se:

$$I_{total} = \left(1 + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right) I_{own} + P_N \quad (5)$$

Onde:

P_N - é a potência de ruído recebida;

I_{own} - é a potência recebida do sinal da própria célula;

I_{other} - é a interferência somada a potência do sinal recebido das células no entorno;

$I_{other} \setminus I_{own}$ - pode ser considerada um valor fixo.

O cálculo da capacidade para o *downlink* e o *uplink* serão analisados separadamente.

Capacidade no Uplink (DURÇO; SILVA, 2007 e JOACHIN, 2006).

Sendo o Node B o receptor, a potência recebida do sinal da própria célula é expressa por:

$$I_{own} = \sum_{j=1}^N \lambda_j I_{total} \quad (6)$$

A potência total recebida, de acordo com a equação 5 será:

$$I_{total} = \left(1 + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right) \sum_{j=1}^N \lambda_j I_{total} + P_N \quad (7)$$

$$I_{total} = \frac{1}{1 - \left(1 + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right) \sum_{j=1}^N \lambda_j} P_N = NR(\eta_{UL}) P_N \quad (8)$$

Onde:

$$NR(\eta_{UL}) = \frac{1}{1 - \eta_{UL}} \quad (9)$$

representa o aumento do ruído no *uplink* em relação ao aumento da carga e:

$$\eta_{UL} = \left(1 + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right) \sum_{j=1}^N \lambda_j \quad (10)$$

é o fator de carga da célula no *Uplink* (*Uplink Cell Load Factor*).

Para simplificar os cálculos, será considerado que todos os usuários da célula utilizam o mesmo serviço. Então tem-se:

$$\lambda_j^{UL} \longrightarrow \lambda^{UL}$$

$$\nu_j \longrightarrow \nu$$

$$R_b := R_{b,j}$$

A potência recebida no *uplink* em função do fator de carga, de acordo com a equação 2 e equação 8, é dada por:

$$P_r(\eta_{UL}) = \lambda^{UL} N R(\eta_{UL}) P_N \quad (11)$$

A perda de percurso no *uplink* entre o UE (na fronteira da célula) e o Node B servindo a célula m pode ser calculada a partir da seguinte expressão:

$$L_m^{UL}(\eta_{UL}) = \frac{P_t}{P_r(\eta_{UL})} \quad (12)$$

Considerando que:

Potência Transmitida – Perda no percurso – Perdas (Interferência, devido à carga) \geq Sensibilidade; a máxima perda no percurso permitida é obtida quando não se tem interferência ($I_{other} = 0$ e $N=1$).

Com a máxima perda no percurso determina-se a potência mínima recebida. Para $I_{other} = 0$ e $N=1$, de acordo com a eq 10, $\eta_{UL} = \lambda^{UL}$, a potência mínima será determinada pela equação:

$$P_{r,min} = \frac{\lambda^{UL}}{1 - \lambda^{UL}} P_N \quad (13)$$

De acordo com a equação 3, tem-se:

$$P_{r,min} = \frac{P_N \nu \left(\frac{E_b}{N_0} \right)}{G_p} \quad (14)$$

Manipulando-se algebricamente as equações acima pode-se definir que a perda no percurso será dada por:

$$L_m^{UL}(\eta_{UL}) = \frac{P_t}{P_{r,min}(1 - \lambda^{UL})}(1 - \eta_{UL}) \quad (15)$$

A célula atinge a capacidade de pólo máxima (número máximo de conexões simultâneas numa célula) no *uplink* quando tem-se a carga máxima $\eta_{UL} = 1$. Logo:

$$\eta_{UL}(N = C_{max}^{UL}) = 1 \quad (16)$$

$$C_{max}^{UL} = \left[\frac{1}{\lambda^{UL} \left(1 + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right)} \right] \quad (17)$$

O máximo *throughput* da célula é dado pela seguinte expressão:

$$R_{cell}^{UL} = R_b C_{max}^{UL} \quad (18)$$

A título de exemplo, utilizando o modelo de propagação de Okomura-Hata, pode-se determinar a dimensão da célula. Considerando o modelo para áreas urbanas, com altura da antena da estação rádio-base de 30m, a antena do UE de 1,5 m e frequência de 1950 MHz, obtém-se:

$$L_m(dB) = 137,4 + 35,22 \log_{10}(R) \quad (19)$$

Igualando o L_m a perda calculada acima, para uma determinada carga obtém-se a dimensão da célula R .

Capacidade no downlink

A potência própria recebida no *downlink* pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$I_{own} = (1 - \alpha_j) \frac{P_T}{L_{m,j}} + \alpha_j P_{r,j} \quad (20)$$

Utilizando a equação 2 tem-se:

$$I_{own} = (1 - \alpha_j) \frac{P_T}{L_{m,j}} + \alpha_j \lambda_j^{DL} I_{total} \quad (21)$$

Assumindo que:

$$I_{other} = \sum_{n \neq m} \frac{P_T}{L_{m,j}} \quad (22)$$

Obtém-se, a partir da equação 5, que a potência total recebida é:

$$I_{total} = (1 - \alpha_j) \frac{P_T}{L_{m,j}} + \alpha_j \lambda_j^{DL} I_{total} + \sum_{n \neq m} \frac{P_T}{L_{n,j}} + P_N \quad (23)$$

A potência de transmissão disponível é limitada pelo máximo EIRP. Levando em consideração a potência de transmissão com as respectivas perdas e ganhos, tem-se:

$$P_T = \sum_{j=1}^N L_{m,j} P_{r,j} + \beta P_T \quad (24)$$

onde o β representa a potência destinada aos canais comuns.

Substituindo o $P_{r,j}$ da equação 2 na equação acima, tem-se:

$$P_T(1 - \beta) = \sum_{j=1}^N L_{m,j} \lambda_j^{DL} I_{total} \quad (25)$$

Substituindo a P_T acima na equação 23 obtem-se, após algumas manipulações algébricas:

$$P_T = \sum_{j=1}^N \frac{\frac{\lambda_j^{(DL)} L_{m,j}}{1 - \alpha_j \lambda_j^{(DL)}}}{1 - \beta - \sum_{j=1}^N \frac{\lambda_j^{(DL)} \left(1 - \alpha_j + \sum_{j=1}^N \frac{L_{m,j}}{L_{m,j}}\right)}{1 - \alpha_j (\lambda_j^{(DL)})}} \quad (26)$$

Para simplificar os cálculos, supõe-se que o α_j e o $L_{m,j}$ são idênticos para todos os usuários

$$\alpha_j \longrightarrow \alpha$$

$$L_{m,j} \longrightarrow L_m$$

E que todos os usuários utilizam o mesmo serviço:

$$\lambda_j^{(DL)} \longrightarrow \lambda^{(DL)}$$

E que a razão I_{other}/I_{own} é dado por:

$$\sum_{j=1}^N \frac{L_{m,j}}{L_{m,j}} \equiv \frac{I_{other}}{I_{own}} \quad (27)$$

Então tem-se que:

$$P_T = \frac{\frac{\lambda^{(DL)} L_m N}{1 - \alpha \lambda^{(DL)}}}{1 - \beta - N \frac{\lambda^{(DL)} \left(1 - \alpha + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right)}{1 - \alpha \lambda^{(DL)}}} \quad (28)$$

Reorganizando tem-se:

$$P_T(1 - \beta) = \frac{\frac{\lambda^{(DL)} L_m N}{1 - \alpha \lambda^{(DL)}}}{1 - \frac{N \lambda^{(DL)} \left(1 - \alpha + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right)}{(1 - \beta)(1 - \alpha \lambda^{(DL)})}} = \frac{\frac{\lambda^{(DL)} L_m N}{1 - \alpha \lambda^{(DL)}}}{1 - \eta_{DL}} \quad (29)$$

onde

$$\eta_{DL} = \frac{N \lambda^{(DL)} \left(1 - \alpha + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right)}{(1 - \beta)(1 - \alpha \lambda^{(DL)})} \quad (30)$$

Substituindo o λ_{DL} pela equação 3, temos que o fator de carga da célula no *downlink* é:

$$\eta_{DL} = \frac{N\lambda^{(DL)} \left(1 - \alpha + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right)}{(1 - \beta)} \cdot \frac{1}{\left(1 - \alpha + \frac{G_{p,j}}{\nu_j \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_e}\right)} \quad (31)$$

e o crescimento do ruído no *downlink* é dado por:

$$NR(\eta_{DL}) = \frac{1}{1 - \eta_{DL}} \quad (32)$$

Tem-se que a perda por percurso é dada pela seguinte expressão:

$$L_m^{(DL)} = \frac{P_T(1 - \beta)}{P_N} \left[1 - \alpha + \frac{G_P}{\nu(E_b/N_0)_e}\right] \frac{1}{N}(1 - \eta_{DL}) \quad (33)$$

A perda por percurso máxima permitida é quando se tem $I_{other} = 0$ e $N = 1$.

Tem-se que a capacidade de pólo é obtida quando $\eta_{DL} = 1$, logo

$$\eta_{DL}(N = C_{max}^{(DL)}) = 1 \quad (34)$$

$$C_{max}^{(DL)} = \frac{(1 - \beta) \left[1 - \alpha + \frac{G_{p,j}}{\nu_j \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_e}\right]}{\left(1 - \alpha + \frac{I_{other}}{I_{own}}\right)} \quad (35)$$

e o máximo *downlink Throughput* é dado por:

$$R_{cell}^{(DL)} = R_b^{(DL)} C_{max}^{(DL)}$$

(DURÇO; SILVA, 2007 e JOACHIN, 2006)

No capítulo quatro, serão apresentadas as considerações sobre os efeitos biológicos e as proteínas.

4 EFEITOS BIOLÓGICOS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado um breve histórico dos efeitos biológicos causados pela radiação eletromagnética, e os conceitos referentes a tais efeitos e ao bioeletromagnetismo. Serão analisadas as radiações ionizantes e não ionizantes, os efeitos térmicos e não térmicos, as proteínas e a legislação adotada pela ANATEL

4.2 HISTÓRICO DOS EFEITOS BIOLÓGICOS CAUSADOS PELA RADIAÇÃO

O tema efeitos biológicos causados pela radiação não ionizante é um assunto relativamente recente.

Estudando a etimologia da palavra Eletromagnetismo, constata-se que ela vem do grego *élektron*, em latim *electrum*, que se refere à eletricidade, e *magnetismus*, do latim *magnes*, significando ímã, magneto. Desde a Antiguidade clássica já se estudava as liberações de cargas elétricas por atrito entre corpos, materiais e seus efeitos associados de atração e repulsão à distância (MUSETTI, 2004).

Após a descoberta dos raios X por *Röntgen*, em 1896, o médico *J. Daniels*, da Universidade de *Vanderbilt*, notificou à comunidade científica o primeiro efeito biológico causado pela radiação: a queda de cabelo de um dos seus colegas, cujo crânio tinha sido exposto à radiação.

O uso dos raios X na terapia produziu alguns resultados desagradáveis, tal como eritema de pele (região da pele de coloração avermelhada). A seguir, ulcerações desenvolveram-se nas mãos dos médicos e, em alguns casos, câncer dos ossos, como

resultado das exposições durante o tratamento de pacientes. Muitos morreram de doenças induzidas pela radiação a que foram expostos nas suas pesquisas. Um ajudante de *Thomas Edison* morreu de um tumor como resultado da exposição excessiva aos raios X.

Durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), foi utilizada uma tinta à base de rádio e fósforo nos instrumentos de navegação aérea dos aviões de guerra para permitir que fossem vistos em vôos noturnos. Quando a guerra acabou, esta tecnologia foi usada em mostradores e ponteiros de relógios. As mulheres empregadas nesta tarefa costumavam passar as pontas dos pincéis na boca para afinar o traço e, sem saber, acabavam engolindo pequenas parcelas de rádio, comprometendo a sua saúde. Depois de dois anos, nove mulheres pintoras de mostrador morreram com uma grave e inexplicável anemia acompanhada por lesões na boca e mandíbula. Um dentista que tinha tratado uma das mulheres fez finalmente a conexão entre a inflamação do osso da mandíbula e a tinta dos relógios.

Por volta de 1915, a Sociedade Britânica adotou a primeira resolução oficial para proteger as pessoas de superexposição aos raios X. Estas normas também foram adotadas, em 1922, por organizações norte-americanas. A conscientização sobre os efeitos da radiação aumentou e, nos anos 1930, mais normas foram criadas. Outros países passaram a adotar medidas de prevenção, embora nos Estados Unidos, até 1940, a prevenção e proteção radiológicas não eram assuntos do governo, conforme relata Musetti (2004).

Somente após a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945) e com a explosão de armas atômicas, é que alguns governos iniciaram os cuidados de proteção a riscos para a população em geral. Desde então, não só os benefícios trazidos pela radiação, mas também os seus efeitos biológicos têm interessado aos cientistas de todo o mundo.

(www.biossegurancahospitalar.com.br/rx/introducao_historico_e_aplicacao_ridoc.pdf).

4.3 EFEITOS BIOLÓGICOS

Podemos conceituar os efeitos biológicos como respostas mensuráveis a um estímulo específico, como a exposição do organismo, por longos períodos de tempo, às radiações não ionizantes das comunicações móveis celulares, que podem gerar mudanças por estressar o organismo, apesar de o corpo humano possuir seus mecanismos regulatórios.

Os estudos dos mecanismos básicos da radiobiologia permitem análises do que ocorre com a passagem da radiação e liberação de energia, por exemplo, nas células ou em parte delas. A energia liberada pode produzir ionização e excitação dos átomos, quebra das

moléculas e, conseqüentemente, a formação de íons e radicais livres altamente reativos. Estes por sua vez podem “atacar” moléculas de grande importância como a molécula de ADN (Ácido Desoxirribonucléico), causando-lhe danos.

Os cientistas aprenderam que a radiação não é apenas fonte de energia inócua, mas também pode ser uma ameaça aos seres vivos, se não for adequadamente utilizada (SALLES; FERNÁNDEZ, 2005 e FRIEDMAN, 2007).

4.4 BIOELETROGÊNESE

O ser humano é um ser biológico, definido pelo que é e pelo que faz.

O ser humano está vivo quando está em atividade biológica, física, química e elétrica. Esses fenômenos devem trabalhar em conjunto para que a vida possa existir (<www.Joinville.Udesc.Br/~geb/bioeletro.Htm>).

O homem existe através da interação com o meio ambiente. Assim, ele deve estar com os seus sistemas funcionando em sincronia, de modo que o seu relacionamento com o meio será pleno em todos os sentidos.

O gerenciamento do sistema humano é realizado através do sistema nervoso central e periférico, que são os responsáveis por receber as informações do ambiente (visual, auditiva, tátil, olfativa e gustativa) através da associação e da motricidade que permite interação com o ambiente. Por meio de reações químicas, físicas e elétricas, o sistema nervoso central e periférico são capazes de gerar eletricidade, codificá-la, conduzi-la e distribuí-la para o lugar exato no momento exato, exercendo funções tais como: sensibilidade, motricidade, reflexo, emoção, memória, etc.

Geração de eletricidade, codificação, condução e distribuição

A geração de eletricidade, codificação, condução e distribuição, são feitas da seguinte forma:

As células podem ser consideradas grosseiramente, como sendo constituídas de vários compartimentos com uma solução aquosa, separados entre si, por meio de uma membrana plasmática semipermeável que permite a passagem de alguns íons, através de canais (Na^+ , K^+ , Cl^-) e impede a passagem de outros elementos (proteínas). A diferença de concentração dos diversos elementos intra e extracelulares, ocorre por desequilíbrio no sistema gerando um

potencial elétrico. Na verdade tal potencial só existe, devido a uma diferença relativa de cargas elétricas entre o meio intracelular (negativo) e o meio extracelular (positivo).

Elementos como sódio, potássio e magnésio, são cátions, pois carregam cargas definidas como positivas (+) e os cloretos e proteínas são ânions, pois carregam cargas negativas (-). Além de outros elementos, menos importantes, a distribuição destes elementos no meio intra e extracelular é desigual.

Para que exista o potencial elétrico, ou seja, o meio intracelular eletricamente negativo quando comparado com o meio extracelular, é preciso ter um gradiente de concentração maior no meio extracelular para o sódio e cloreto, e para o meio intracelular para o potássio e proteínas. Esses elementos, exceto as proteínas, trafegam pela membrana através de canais iônicos mais ou menos específicos que permitem ou não a passagem destes elementos dependendo de suas características físicas e elétricas.

Conforme a lei de Ohm, o potencial elétrico (V) corresponde à diferença de potencial entre dois pontos por onde circula a corrente elétrica (1A) através de uma resistência de 1ohm ($1\text{ohm}=1\text{volt/ampère}$).

A corrente elétrica “E” é o fluxo de cargas entre dois pontos, na unidade de tempo, e só existe se houver diferença de potencial entre estes dois pontos. Sua unidade de medida é o ampère (A) que é 1 coulomb x 1 segundo. O Coulomb é a unidade de carga elétrica e sabemos que a carga de um elétron corresponde a $1,59 \times 10^{-9}$ Coulomb.

Encontra-se o sódio (+) e o cloreto (-) no meio extracelular, e o potássio (+) e as proteínas (-) no meio intracelular. As proteínas não conseguem sair do interior da célula, pois a membrana semipermeável não é permeável a elas. Portanto, existe uma maior concentração de sódio no exterior da célula e de potássio no interior, embora ambos circulem livremente pela membrana através de seus canais iônicos.

Através desse sistema as células excitáveis, particularmente os neurônios mantêm uma diferença de potencial entre o meio intra e extracelular, chamado potencial de repouso.

Potencial de repouso

O potencial de repouso é a diferença de potencial elétrico entre as faces interna e externa da membrana plasmática semipermeável. Tal membrana deve estar livre de influências (estímulos) externas e tal potencial (em torno de -70 mV), deve ser estável, ou seja, não pode haver variação no período de tempo analisado.

O potencial de repouso é um potencial de difusão de íons através de uma membrana plasmática semipermeável. Tal membrana funciona como um capacitor que se carrega e descarrega, dependendo da cinética dos íons que levam consigo carga elétrica. Ao passar do meio intra para o extracelular, o potássio leva consigo carga positiva carregando a face externa da membrana plasmática de carga positiva excedente. Concluímos que quando um íon passa de um lado ao outro da membrana plasmática, ele modifica os dois meios (intra e extra celular), pois de um ele “tira” carga elétrica e para o outro ele “doa” carga elétrica.

O potencial de repouso pode ser medido com um voltímetro, ligando-se um eletrodo no meio intra e outro no meio extra celular.

Potencial de ação

O potencial de ação ocorre quando aplicamos estímulos crescentes no sentido despolarizante (para reduzir a eletronegatividade) até o limiar de ação (cerca de 20 mV no sentido da despolarização).

A velocidade de condução do potencial de ação depende de vários fatores:

- Capacitância da membrana: quanto maior a capacitância, menor é a velocidade de condução, já que é necessário maior tempo para descarregar o capacitor (membrana no caso);
- Resistência (interna e da membrana): quanto maior a resistência, menor é a velocidade de condução;
- Diâmetro da fibra nervosa: quanto maior o diâmetro da fibra, maior é a velocidade;
- Temperatura: quanto maior a temperatura, maior é a “excitação” molecular, aumentando conseqüentemente o fluxo iônico e a velocidade de condução do potencial elétrico.

4.5 “QUEBRAS” SIMPLES E DUPLAS DE ADN (Ácido Desoxirribonucléico)

O ADN é formado por duas fitas compostas de nucleotídeos, que se ligam com os outros nucleotídeos da outra fita (adenina-timidina, citosina-guanina). A fita de ADN é uma dupla fita, conforme mostra a figura 4.1.

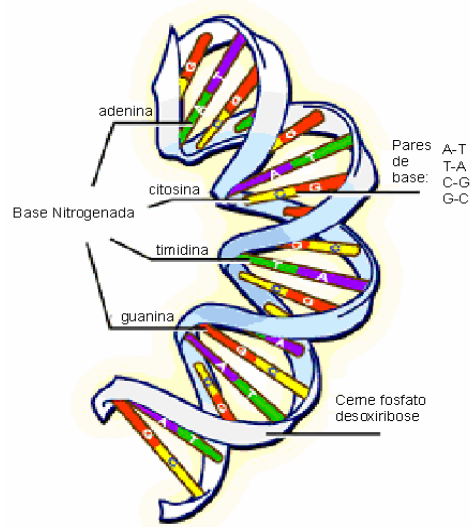


Figura 4.1 - Dupla fita de ADN
 Fonte: <www.scq.ubc.ca/wp-content/dna.gif>.

Observando o esquema de como é a fita de ADN, na figura 4.1, a quebra simples na fita é a quebra de apenas uma das fitas, conforme mostra a figura 4.2.

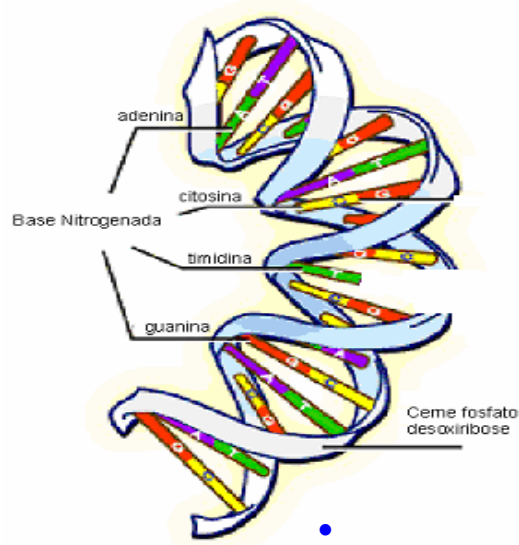


Figura 4.2 - Quebra simples na fita de ADN
 Fonte: <www.scq.ubc.ca/wp-content/dna.gif>.

A quebra dupla resulta na quebra das duas fitas simultaneamente, conforme mostra a figura 4.3.

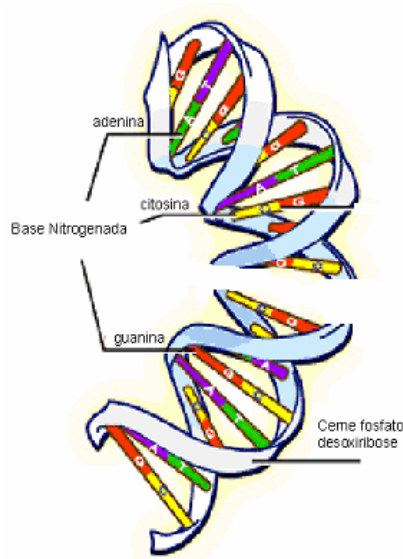


Figura 4.3 - Quebra dupla na fita de ADN
 Fonte: <www.scq.ubc.ca/wp-content/dna.gif>.

Em relação ao que estas quebras podem causar (tanto a quebra simples como a dupla), se a célula não for capaz de reparar o dano (juntando as fitas rompidas), pode acontecer a morte da célula, ou a manutenção de uma célula defeituosa (se ela continuar viva). Com o ADN rompido, se esta região gênica transcreve uma proteína, a proteína será construída de forma truncada (incompleta) (ALBERTS, 2002).

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Bioelectromagnetics* de 27 de maio de 2006, sob o título “*Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation*”, onde os Drs. *Belyaev IY, Koch CB, Terenius O, Roxstrom-Lindquist K, Malmgren LO, H Sommer W, Salford LG, Persson BR*. (pesquisadores do *Department of Genetics, Microbiology and Toxicology, Stockholm University, Sweden*) concluem que: “*Exposure of rat brain to 915 MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation*”, onde os Drs. *Belyaev IY, Koch CB, Terenius O, Roxstrom-Lindquist K, Malmgren LO, H Sommer W, Salford LG, Persson BR*. (pesquisadores do *Department of Genetics, Microbiology and Toxicology, Stockholm University, Sweden*) concluem que: “*The data shows that GSM MWs at 915 MHz did not induce PFGE (pulsed-field gel electrophoresis)-detectable DNA double stranded breaks or changes in chromatin conformation, but affected expression of genes in rat brain cells*”

4.6 BIOELETROMAGNETISMO (ou BIOELETRICIDADE)

Bioeletromagnetismo é a ciência que analisa entre outros, os efeitos que se referem à diferença de potencial das células e das correntes elétricas que circulam nas mesmas.

A existência de potenciais elétricos através das membranas de todas as células do corpo é comprovada experimentalmente. Algumas células, como as neurais (sistema nervoso) e as musculares, são excitáveis, ou seja, capazes de gerar impulsos eletroquímicos em suas membranas (<www.Joinville.Udesc.Br/~geb/bioeletro.Htm>).

4.7 RADIAÇÕES

Conceitua-se a Radiação como uma forma de energia que se propaga, sendo dividida em dois grandes grupos de energia, a radiação ionizante e a radiação não ionizante (PAES, 2006).

4.7.1 Radiação Ionizante

A radiação ionizante é a que possui energia suficiente para “remover” elétrons de um átomo, podendo danificar células dos organismos e afetar o material genético causando graves efeitos biológicos, como o câncer. Suas partículas carregadas são a alfa, beta, prótons e elétrons e as partículas não carregadas são os nêutrons.

4.7.2 Radiação Não Ionizante

A radiação não ionizante é a radiação que não possui energia suficiente para “remover” elétrons de um átomo. Ela não altera o átomo, mas causa efeitos biológicos pela transformação de energia em calor, podendo quebrar moléculas e ligações químicas. Alguns exemplos de efeitos biológicos da radiação não ionizante, encontram-se relacionados no ANEXO I.

A radiação não ionizante gera efeito acumulativo, isto significa que só o período de exposição e a reação própria de cada organismo é que poderão comprovar que a radiação não causa efeitos biológicos, pois, nem todas as células vivas têm a mesma sensibilidade à

radiação. As células que têm mais atividade são mais sensíveis, pois a divisão celular requer que o ADN seja corretamente reproduzido para que a nova célula possa ser gerada.

A destruição de uma molécula de ADN resulta numa célula capaz de continuar a viver, mas incapaz de se dividir. Assim, a célula acaba por morrer e não é renovada. Se isso ocorrer em um número muito grande de células, haverá um mau funcionamento do tecido constituído por essas células (SALLES; FERNÁNDEZ, 2005 e PAES, 2006).

A figura 4.4 ilustra o espectro eletromagnético geral, composto de radiações ionizantes e não ionizantes, onde são apresentados os espectros crescentes de frequências e comprimentos de ondas.

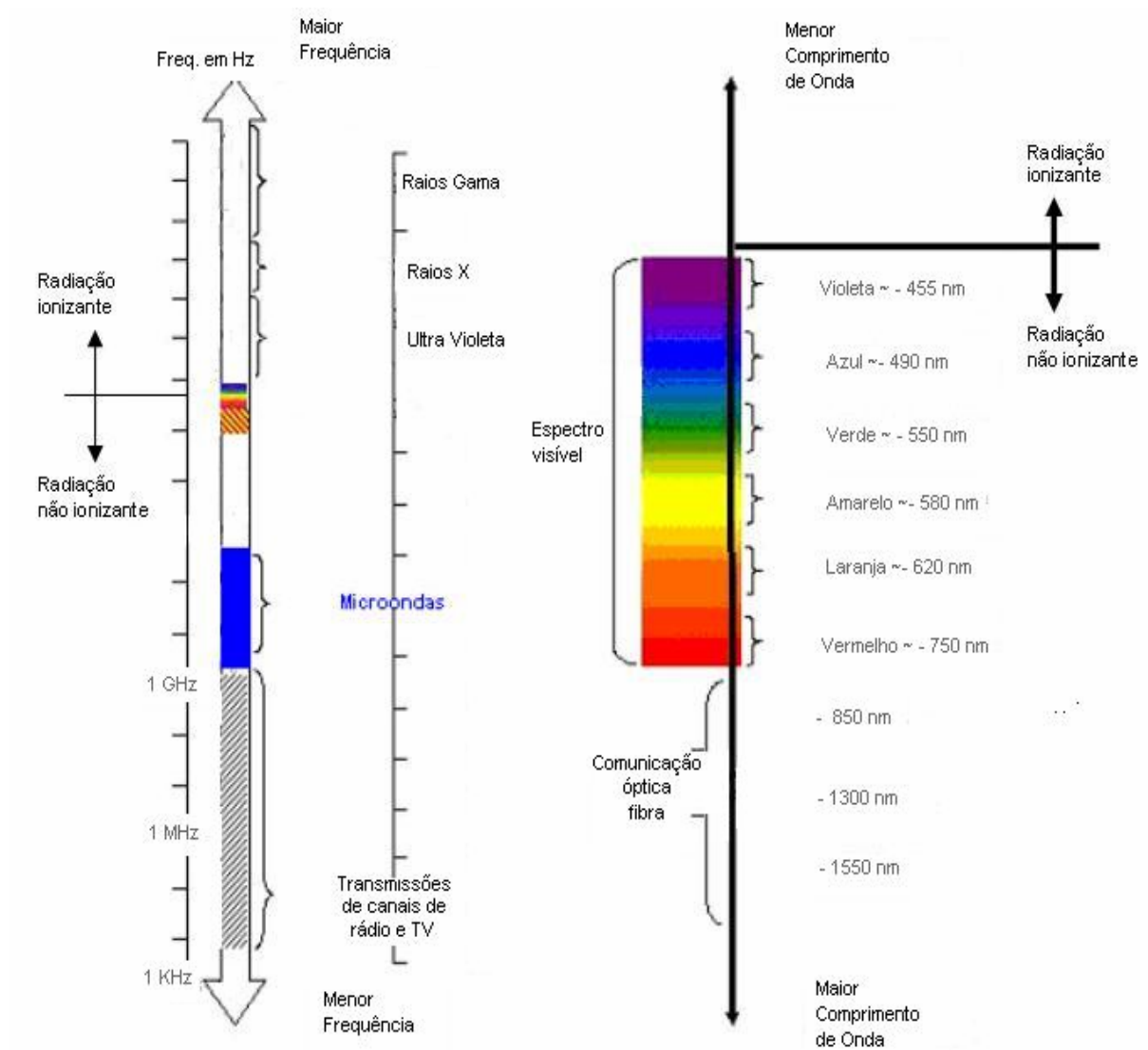


Figura 4.4 - Espectro Eletromagnético
Fonte: IPT-SP, adaptada pela autora.

4.8 FENÔMENOS DE EXPOSIÇÃO DAS CÉLULAS

Os fenômenos de exposição das células referem-se à análise do processo de interação das ondas eletromagnéticas com o corpo humano.

As células, quando expostas à radiação, sofrem ação de fenômenos físicos, químicos e biológicos. A radiação pode causar ionização dos átomos, que podem afetar moléculas, células, tecidos, órgãos e todo o corpo. Existe a tendência de se avaliar os efeitos da radiação em termos de efeitos sobre células quando, na verdade, a radiação interage somente com os átomos presentes nas células. Assim, os efeitos biológicos começam em consequência das interações das radiações ionizantes com os átomos formadores das células.

O corpo humano é constituído por cerca de 5 trilhões de células, muitas das quais altamente especializadas para o desempenho de determinadas funções. Quanto maior for o seu grau de especialização, isto é, quanto mais diferenciada for a célula, mais lentamente ela se dividirá. Uma exceção significativa a essa lei geral são os linfócitos (glóbulos brancos do sangue) que embora só se dividam em condições excepcionais, são extremamente radiosensíveis (SCHABERLE; SILVA, 2000).

4.8.1 Fenômenos Físicos

Os fenômenos físicos principais, de interesse deste trabalho, são a ionização e a excitação dos átomos. Estes são responsáveis pelo compartilhamento da energia da radiação entre as células. Um organismo complexo quando exposto às radiações sofre determinados efeitos somáticos que lhe são restritos, e outros genéticos, transmissíveis às gerações posteriores.

4.8.2 Fenômenos Químicos

Os fenômenos químicos sucedem os físicos e provocam rupturas de ligações entre os átomos formando radicais livres num intervalo de tempo pequeno.

4.8.3 Fenômenos Biológicos

Os fenômenos biológicos da radiação são conseqüências dos fenômenos físicos e químicos. Estes fenômenos alteram as funções específicas das células e são responsáveis pela diminuição das atividades da substância viva do organismo, por exemplo: efeitos cognitivos (tempo de percepção/reação) e alterações na pele. Estas alterações constituem as primeiras reações do organismo à ação da radiação.

Os fenômenos biológicos são caracterizados, também, pelas variações morfológicas que podem estar associadas às alterações em certas funções ou a morte imediata da célula, causando danos na estrutura celular (ALBERTS, 2002).

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Bioelectromagnetics* de 22 de novembro de 2005, sob o título “*Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans*”, onde os Drs. *Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N, Shani G.* (pesquisadores do *Radiation Safety Division Soreq NRC, Yavne, Israel*) concluem que: “*This study attempted to establish a connection between the exposure of a specific area of the brain and the cognitive functions associated with that area. A total of 36 healthy right-handed male subjects performed four distinct cognitive tasks: spatial item recognition, item recognition, and two spatial compatibility tasks. This effect was apparent in three of the four tasks, and was highly significant in only one of the tests. The exposure intensity and its duration exceeded the common exposure of cellular phone users*”.

4.9 EFEITOS TÉRMICOS

Os efeitos térmicos são aqueles causados pelo aquecimento do organismo (surgem diretamente do aquecimento do tecido, como resultado da absorção de parte da energia transportada pela onda eletromagnética incidente).

A absorção específica SA (*Specific Absorption*) é a energia absorvida por unidade de massa de tecido biológico (J/kg).

A taxa de absorção específica SAR (*Specific Absorption Rate*) é a taxa de absorção de energia por tecidos do corpo, em watt por quilograma (W/kg). Todos os valores de SAR devem ter sua média temporal avaliada ao longo de qualquer período de 6 (seis) minutos. A Resolução 303, de julho de 2002, publicada pela ANATEL, segue as diretrizes internacionais propostas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e adota o valor de 2 W/kg, na faixa de frequência dos aparelhos celulares utilizados no Brasil, independentemente da tecnologia.

As simulações da SAR consideram somente os efeitos térmicos e as normas mais difundidas mundialmente, são baseadas unicamente nelas.

A resposta térmica de um corpo depende da SAR, da cobertura do corpo, do sistema termo-regulatório, das condições fisiológicas, do meio ambiente e, no caso de irradiação incidindo apenas sobre uma parte específica do corpo, da vascularização nesta região. Sob circunstâncias normais, os vasos sanguíneos se dilatam com o aquecimento e o mesmo é removido pela corrente sanguínea.

A radiação não é somente absorvida ao nível da pele, mas também em níveis mais profundos do corpo, dissipando-se rapidamente com a profundidade, podendo causar um aumento de temperatura não percebido pelos sensores térmicos naturais, que são localizados superficialmente. O aquecimento gerado internamente depende do tempo de exposição, da intensidade do campo e da espessura do tecido, não podendo às vezes ser compensado pelo organismo, ocasionando efeitos biológicos, conforme representado na figura 4.5 (SALLES; FERNÁNDEZ, 2005).

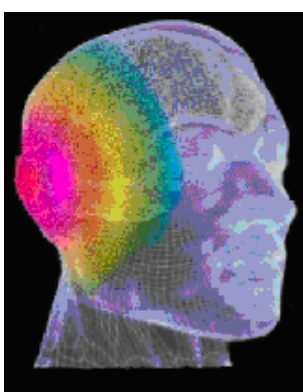


Figura 4.5 - Efeitos Térmicos
Fonte: (SALLES; FERNÁNDEZ, 2005).

4.10 EFEITOS NÃO TÉRMICOS

Os efeitos não térmicos não são provocados pelo aquecimento do organismo, mas sim pela interação direta do campo eletromagnético com as moléculas que formam o tecido, quando suas partículas tentam se orientar com o campo elétrico de modo a minimizar sua energia potencial. A interação dos campos eletromagnéticos com os sistemas biológicos pode resultar em alterações destes, gerando efeitos biológicos causados diretamente pelo campo eletromagnético induzido nos tecidos.

Os efeitos não térmicos podem ser, por exemplo, alterações nos sinais mediados pela proteína cinase (catalisadora, ou seja, agiliza um efeito metabólico) ERK 1/2 que estimula a divisão celular e outros processos biológicos (FRIEDMAN, 2007 e <www.prorad.com.br/pro/rni.pdf>).

A divisão celular é um processo que ocorre naturalmente quando há crescimento ou renovação dos tecidos, mas também pode gerar efeitos biológicos no organismo que não consegue interromper ou prevenir a reprodução excessiva das células, como por exemplo, o câncer.

A divisão celular e “quebras” simples e duplas na molécula de ADN, não são provocadas pelo aquecimento da região submetida à radiação eletromagnética. Ela pode ocorrer através de um efeito biológico não térmico, por exposição a níveis de radiação abaixo dos gerados pelos aparelhos celulares (FRIEDMAN, 2007).

Como exemplos de pesquisas cadastradas no banco de dados, citam-se as publicações:

1. *New Scientist-BBC* pg. 37, Setembro de 2007, sob o título “Radiação do celular pode acelerar divisão de células” onde o Dr. *Rony Seger* (pesquisador do setor de oncologia do Instituto de Ciência *Weizmann*, em Israel) cita que: “É importante ressaltar que as células não ficaram inertes diante de radiações não-térmicas. Nós usamos níveis de radiação cerca de um décimo mais fraco dos produzidos por um celular normal e as mudanças observadas claramente não foram causadas pelo aquecimento”.
2. *Zhonghua Lao Dong*, pgs. 465-7 de 24 de Agosto de 2006, sob o título “*Effect of acute exposure to microwave from mobile phone on DNA damage and repair of cultured human lens epithelial cells ‘in vitro’*” onde os Drs. *Sun LX, Yao K, He JL*,

Lu DQ, Wang KJ e Li HW (pesquisadores do *The Eye Center, 2nd Affiliated Hospital of Zhejiang University, Hangzhou 310006, China*) citam que: “*The DNA damages caused by 4 W/kg irradiation were irreversible*”.

4.10.1 Efeitos Não Térmicos das Radiações Não Ionizantes: Projeto Reflex

Com o objetivo de incentivar a pesquisa dos efeitos biológicos não térmicos das radiações não ionizantes, foi criado na Europa em 2000, o projeto com o nome *Risk Evaluation of Potential Environmental Hazards from Low Energy Electromagnetic Field Exposure, using sensitive “in vitro” method*, formado por cientistas representando os seguintes Países: Alemanha, Áustria, Espanha, Finlândia, França, Itália e Suíça.

Este projeto durou quatro anos e quatro meses e foram investidos 3,149 milhões de euros (SALLES; FERNANDEZ, 2005 e <www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEXProgressSummary>).

Alguns dos principais resultados reportados no relatório do período de 1/2/2000 a 31/5/2004 são:

- Aumento significativo nas quebras simples e duplas das cadeias de ADN em níveis de exposição da SAR entre 0,3 e 2 W/Kg.
- Alterações na expressão e na fosforilação (é a adição de um grupo de fosfato [PO₄] a uma proteína, importante no mecanismo de regulação das proteínas) das proteínas de choque térmico HSP-27, que funcionam como indicadores de stress nas respostas das células.

Abaixo é apresentada uma lista com publicações geradas pelo projeto REFLEX (Grupo independente Dr. *Stewart-UK*) e no ANEXO II um exemplo de publicação completa, sobre os efeitos biológicos nas proteínas provenientes do projeto REFLEX.

- *Independent Expert Group on Mobile Phones – Home page of IEGMP, the Independent Expert Group on Mobile Phones. <www.iegmp.org.uk>.*
- *Report of the Independent Expert Group on Mobile Phones –*

- *The Stewart Report: The report of IEGMP, the Independent Expert Group on Mobile Phones.*
<www.iegmp.org.uk/report/>.
- *Mobile telecommunications and health: The Department of Health... The Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) published its concluding ... Mobile phones and health: Government response to the report from the ...*
<www.dh.gov.uk/.../HealthAndSocialCareTopics/>.
- *Mobile phones and health: Government response to the report from ...*
- *Mobile phones and health: Government response to the report from the Independent Expert Group on Mobile Phones (Stewart Group). Document type: Guidance ...*
<www.dh.gov.uk/.../PublicationsPolicyAndGuidanceArticle/>.
- *DE Teachers: health and safety, mobile phones –*
- *Mobile Phones and Health Government Response to the report from the Independent Expert Group ... 3. Assessment of of Health Risks. Mobile Phone Technology ...*
<www.deni.gov.uk/teachers/d_mobile.htm ->.
- *Mobile Phones and Health*
This has led a group of independent experts - commissioned by Government ... health problems caused by using mobile phones. ...
<www.wales.gov.uk/subihealth/content/keypubs/pdf/mobilephones_e.pdf ->.
- *Mobile Phone Base Stations - Related Sites –*
- *The 2004 report from the NRPB about Mobile Phones and Health is available from... The Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP) ...*
<www.sitefinder.radio.gov.uk/relatedsites.htm ->.
- *Telecomms*
MOBILE PHONES AND HEALTH - GOVERNMENT RESPONSE TO THE REPORT FROM THE INDEPENDENT EXPERT GROUP ON MOBILE PHONES (STEWART GROUP) ...
<www.dti.gov.uk/industry_files/pdf/mobilephones_and_health.pdf ->.
- *Mobile phones*
Government, published in May 2000, by a group of independent experts led by Sir

William Stewart. ... show health problems caused by using mobile phones. ...

<www.t-mobilepressoffice.co.uk/company/MPh_Leaflet.pdf ->.

- *Mobile Phones and Health 2004 –*
- *Mobile Phones and Health. Report of an Independent Expert Group on Mobile Phones. Chairman, Sir William Stewart. Chilton, NRPB. ...*
<www.hpa.org.uk/radiation/publications/ documents_of_nrp/abstracts/absd15-5.htm - 54k - 7 nov. 2005>.

4.11 PROTEÍNAS

Quando se examina uma célula no microscópio, ou se analisa sua atividade elétrica ou bioquímica, na verdade estuda-se as proteínas, que constituem a maior parte da massa celular seca. As proteínas são macromoléculas estruturalmente complexas, funcionalmente as mais sofisticadas que se conhecem, sendo compostas de aminoácidos. Elas são necessárias para os processos químicos que ocorrem nos organismos vivos e foram desenvolvidas e ajustadas por bilhões de anos de história evolucionária. As proteínas são os constituintes básicos da vida, tanto que seu nome deriva da palavra grega “*proteios*”, que significa “em primeiro lugar”.

Não são somente as proteínas que constroem as células, elas também executam praticamente todas as funções celulares, formam canais e bombas que controlam a passagem de pequenas moléculas para dentro e para fora das células, carregam mensagens entre as células e agem como integradora. Nos animais, as proteínas correspondem cerca de 80% do peso seco dos músculos, cerca de 70% da pele e 90% do sangue seco (PRATT; D. VOET; J. VOET, 2000).

4.11.1 Síntese das Proteínas

A síntese protéica é um processo de absoluta precisão, necessitando de condições físico-químicas apropriadas e envolvendo uma série muito grande de enzimas (proteínas catalisadoras) e outras moléculas, tais como água e ácidos nucleicos. Há nesse processo um enorme gasto de energia, utilizada tanto para a estruturação da proteína, como para garantir a fidelidade do seu perfeito arranjo bioquímico.

A importância das proteínas, entretanto, está relacionada com suas funções no organismo, e não com sua quantidade. Todas as enzimas conhecidas, por exemplo, são proteínas; muitas vezes, as enzimas existem em porções muito pequenas. Mesmo assim, estas substâncias catalisam todas as reações metabólicas e capacitam aos organismos a construção de outras moléculas – proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídios – que são necessárias para a vida.

Nesse “controle de qualidade celular”, existe uma alocação de energia com perdas de forma a garantir que, em cada ligação entre os aminoácidos, ocorra um aparente desperdício de energia, refletindo, na verdade, todo o cuidado que o organismo tem nesse processo, pois discretas alterações nas estruturas das proteínas podem comprometer as funções celulares.

Existem muitas espécies diferentes de proteínas, cada uma especializada para uma função biológica diversa. A maior parte das informações genéticas é expressa pelo ADN e pertencem à classe dos peptídeos, pois são formadas por aminoácidos ligados entre si por ligações peptídicas. Uma ligação peptídica é a união do grupo amino ($-NH_2$) de um aminoácido com o grupo carboxila ($-COOH$) de outro aminoácido, através da formação de uma amida.

(http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2003/const_microorg/proteinas.htm).

4.11.2 Estrutura das Proteínas

As proteínas são formadas exclusivamente por apenas 20 aminoácidos (unidades fundamentais de uma molécula de proteína), que se repetem numa seqüência característica para cada uma delas. Esta seqüência é conhecida como estruturas: primária, secundária, terciária e quaternária.

4.11.3 Função das Proteínas

As proteínas exercem na célula uma grande variedade de funções, que podem ser divididas em 2 grupos:

- Dinâmicas: transporte, defesa, catálise de reações, controle do metabolismo e contração, etc.
- Estruturais: são as proteínas, como o colágeno e elastina que promovem a sustentação estrutural da célula e dos tecidos (BERG et al., 2002).

4.11.4 Proteínas Chaperonas

A proteína chaperona tem por finalidade assistir, com função de gerenciar em ambiente seguro e apropriado, a outras proteínas na obtenção de seu dobramento apropriado. São como “protetoras moleculares”.

Muitas chaperonas são proteínas de choque térmico *HSP(Heat Shock Protein)*, ou seja, são proteínas sintetizadas em resposta à elevação de temperatura ou outro estresse celular. Portanto, o principal mecanismo de ação das proteínas de choque térmico, mediante o qual conferem proteção a outras proteínas, seria o de atuarem como proteína chaperonas (ALBERTS, 2002).

4.11.5 Proteínas de Choque Térmico-HSP (*Heat Shock Protein*)

As proteínas de choque térmico são um grupo de proteínas que tem sua síntese ampliada, quando as células são expostas a elevadas temperaturas ou estresses, como o SAR. Nos últimos dez anos, vários trabalhos científicos foram publicados a respeito das proteínas do choque térmico HSP e da resposta ao choque térmico, ou HSR (*Heat Shock Response*). Ainda há muito a ser pesquisado, mas a relevância do assunto justifica plenamente o seu estudo e a sua divulgação.

As proteínas do choque térmico HSP são uma classe de proteínas altamente conservadas, desde os seres primitivos até o homem, o que é um indício de seu grande valor evolutivo. As HSP podem ser agrupadas em várias famílias: HSP-27, HSP-47, HSP-60, HSP-70, HSP-90 e HSP-110, com suas respectivas funções de assegurar sua conformação correta, variando conforme suas seqüências de aminoácidos e pesos moleculares (ALBERTS, 2002).

4.11.6 Resposta ao Choque Térmico HSR (*Heat Shock Response*)

Os pesquisadores observaram que a exposição de células de glândulas salivares da *Drosophila* (representada na figura 4.6) ao estresse térmico (calor) produzia o surgimento em cromossomos, de um novo padrão de espessamento que representava sítios específicos de transcrição para a síntese de proteínas.



Figura 4.6 - *Drosophila melanogaster*
Fonte: BIOPIX-FamilieDrosophilidae.

O estresse térmico ou químico induz a expressão de genes, os quais fazem com que as células estressadas fabriquem grande quantidade de uma determinada classe de proteínas, as proteínas do choque térmico HSP. O processo pelo qual as células respondem ao estresse ficou conhecido como resposta ao choque térmico HSR.

Posteriormente, foi verificado que a resposta aos choques térmicos, observados inicialmente na drosophila, era um fenômeno praticamente universal entre todos os seres vivos.

Esta resposta é caracterizada por um aumento extremamente rápido na expressão de um grupo seletivo de proteínas de choque térmico, ocorrendo após exposição ao calor, mas também, quando as células são expostas a diversos outros desafios metabólicos (ALBERTS, 2002).

Como exemplos de pesquisas cadastradas no banco de dados, citam-se as publicações:

- 1 - *Bioelectromagnetics* de 19 de Fevereiro de 2008, sob o título “*Mobile phone electromagnetic radiation activates MAPK signaling and regulates viability in Drosophila*” onde os Drs.: Lee KS, Choi JS, Hong SY, Son TH, Yu K.

(pesquisadores do *Centre for Regenerative Medicine, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Daejeon, Korea*) citam que: “*These findings demonstrate that the exposure limit on electromagnetic radiation proposed by ANSI triggered ERK-survival signaling but the strong electromagnetic radiation activated JNK-apoptotic signaling in Drosophila*”.

2 - *Mutat Res.*, de 10 de Outubro de 2006, sob o título “*Cell death induced by GSM 900-MHz and DCS 1800-MHz mobile telephony radiation*”, onde os Drs. *Panagopoulos DJ, Chavdoula ED, Nezis IP e Margaritis LH* (pesquisadores do *Department of Cell Biology and Biophysics, Faculty of Biology, University of Athens, Panepistimiopolis, 15784 Atenas, Grécia*) citam que: “*Our present results suggest that the decrease in oviposition previously reported, is due to degeneration of large numbers of egg chambers after DNA fragmentation of their constituent cells, induced by both types of mobile telephony radiation*”.

4.11.7 Proteína de Choque Térmico Hsp-27

A proteína chaperona Hsp-27 (27 kDaltons), é a proteína de choque térmico muito pesquisada nos últimos cinco anos pelas suas reações à exposição da radiação não ionizante, conforme mostram as várias pesquisas registradas no banco de dados.

Como exemplo de pesquisa do banco de dados, cita-se a publicação da *Proteomics* de 14 de Fevereiro 2006, sob o título “*Applicability of discovery science approach to determine biological effects of mobile phone radiation*”, onde os Drs. *Leszczynski D, Nylund R, Joenvaara S, Reivinen J* (pesquisadores do *Bio-NIR Research Group at the Radiobiology Laboratory, STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland.*) sugerem que: “*The ‘case of hsp27 protein’ presented here suggests that even proteins with only modestly altered (by exposure to mobile phone radiation) expression and activity might have an impact on cell physiology*”.

4.12 BARREIRA HEMATOENCEFÁLICA – (BBB-*Blood Brain Barrier*)

É importante apresentar este conceito nesta dissertação, pois se verifica uma tendência crescente de pesquisas cadastradas em nosso banco de dados sobre os efeitos biológicos da radiação não ionizante na Barreira hematoencefálica.

A Barreira hematoencefálica é uma barreira transportadora, tem a função de evitar a entrada de algumas substâncias no cérebro e também promover a saída de outras substâncias. Sua estrutura é semipermeável, ou seja, permite que algumas substâncias a atravessem e outras não. A Barreira hematoencefálica protege o cérebro de “substâncias estranhas” que possam estar presente no sangue e danificá-lo, protegendo-o também, contra hormônios que possam estar circulando pelo corpo, mantendo assim um ambiente químico protegido e constante para o bom funcionamento do cérebro.

A Barreira hematoencefálica pode ser “quebrada” por:

- Alta pressão arterial;
- Não estar totalmente formada em recém-nascidos;
- Hiperosmolaridade, se uma substância estiver presente em grandes concentrações no sangue, ela pode conseguir entrar “à força” pela Barreira hematoencefálica;
- Agentes infecciosos;
- Trauma, isquemia, inflamação e lesões cerebrais como as causadas pela esclerose múltipla;
- Exposição à radiação, na faixa microondas.

Com a exposição à radiação, mesmo em níveis muito baixos de campos eletromagnéticos (SAR = 0,002 W/kg, durante 2 horas), pode ocorrer efeito não térmico de alterações na Barreira hematoencefálica, permitindo que substâncias químicas penetrem em neurônios no córtex, hipocampo e em gânglios basais do cérebro. (SALFORD; PERSSON, 2003)

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Proteomics* de Setembro de 2006, sob o título “*EFFECT OF GSM MOBILE PHONE RADIATION ON BLOOD-BRAIN BARRIER*”, onde o Dr. *Dariusz Leszczynski* (pesquisador do *Bio-NIR Research Group, Radiobiology Laboratory, STUK-Radiation and Nuclear Safety*

Authority, Helsinki, Finland) conclui que: “The proposed above intra-cellular mechanism for the mobile phone radiation-increased permeability of the blood-brain barrier is a hypothesis but as such it is reasonably supported by the evidence concerning both effects of microwaves on stress response and effects of hsp27 (increased expression and activity) on cell physiology. Furthermore, it appears that the physiological changes caused by hsp27 phosphorylation indeed take place in endothelial cells (stress fibers' expression, cell size/shape changes). These events, when occurring repeatedly (on daily basis) over the long period of time (years) might become health hazard because of the possible accumulation of brain tissue damage”.

Devido a importância deste assunto observado nas pesquisas registradas no banco de dados, apresenta-se complementarmente no ANEXO II, o texto integral desta publicação.

4.13 RESOLUÇÃO 303 ANATEL PARA LIMITES DE EXPOSIÇÃO

A Agência Nacional de Telecomunicações-ANATEL (Resolução 303), seguindo as normas internacionais ICNIRP-*International Commission on Nonionizing Radiation Protection* (ICNIRP, 1998) estabelece os limites para a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de radiofrequência entre 9 kHz e 300 GHz, associados à operação de estações transmissoras de radiocomunicação de serviços de telecomunicações, com valores restritos para exposição ao campo eletromagnético da rádio frequência (CEMRF), conforme mostra a tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Restrições Básicas para exposição a CEMRF

Categoria da exposição	SAR médio de corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)	SAR localizada (membros) (W/kg)
Ocupacional	0,4	10	20
Público em geral	0,08	2	4

As diferenças para exposição observadas na tabela acima entre os valores para a população e os valores para ocupacional são interessantes, uma vez que não existem equipamentos de proteção individual - EPI's (*Equipamento Proteção Individual*) para os

trabalhadores. Controla-se o nível de radiação, mas não se controla o tempo de exposição das pessoas (NR-15 Normas Regulamentadoras Ministério do Trabalho, ANEXO 7), pois, “Ninguém sabe o nível de exposição acumulativa em qualquer ambiente”.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Int J Occup Saf Ergon* de Dezembro de 2006, sob o título “*EU Directive, ICNIRP guidelines and Polish legislation on electromagnetic fields*”, onde os Drs. *Karpowicz J, Hietanen M, Gryz K, ICNIRP* (pesquisadores do *Central Institute for Labour Protection--National Research Institute, Poland*) concluem que: “*As an example of national legislation on the protection of workers against excessive electromagnetic field exposure, regulations established in Poland are summarized. The problems of a practical implementation of the Directive's provisions are discussed*”.

No capítulo 5, será apresentado o Banco de Dados construído pela autora.

5 BANCO DE DADOS

Neste capítulo será apresentado o Banco de Dados e Metanálise (análise de análises).

5.1 INTRODUÇÃO

O banco de dados construído pela autora permite a realização de um levantamento amplo e imparcial sobre os resultados das pesquisas publicadas em portais nacionais e internacionais (internet), apresentadas em “*Abstracts*” e textos completos. As informações são disponibilizadas através de uma ferramenta desenvolvida para agrupar diferentes dados, sobre os efeitos biológicos da radiação não ionizante, especificamente na faixa da telefonia celular.

O banco de dados foi elaborado a partir da análise de publicações, tendo sido selecionadas e registradas 397 publicações feitas por pesquisadores de 42 Países, no período representativo da referida amostragem entre 1997 e 2007.

Durante a fase de registros, foram catalogados cerca de 80 diferentes efeitos biológicos, listados no ANEXO I, registrados no banco de dados.

O critério de seleção utilizado na análise foi, prioritariamente, o QUALIS A e B, com escolhas aleatórias, evitando resultados tendenciosos. As publicações que foram excluídas, não atenderam ao critério de seleção.

5.2 MODELO RELACIONAL

O banco de dados foi elaborado a partir de vários registros similares de informações referentes aos efeitos biológicos em um determinado período de tempo, no caso desta dissertação as pesquisas publicadas nos últimos 10 anos (CINTO; GÓES, 2005).

Foi utilizado o modelo relacional, onde as estruturas tem a forma de tabelas, compostas por linhas e colunas.

O esquema do banco de dados foi constituído por registros associados ao conceito de efeitos biológicos, salvos em modo sistemático, para cada uma das trezentas e noventa e sete pesquisas registradas e dividido nos atributos principais para efeitos biológicos:

- Positivos (SIM) – registro de que a pesquisa concluiu que existem efeitos biológicos;
- Negativos (NÃO) – registro de que a pesquisa concluiu que não existem efeitos;
- Indiferentes (INCERTOS ou NÃO AVALIADOS) – registro de que a pesquisa não concluiu sobre os efeitos biológicos;
- Modelo Biológico – “*in vivo*” e “*in vitro*”;
- Tipo de efeito biológico.

5.3 METODOLOGIA

A metodologia foi selecionada de modo a fazer um levantamento o mais amplo possível, analisando “*Abstracts*” e artigos completos, em busca de resultados e conclusões que permitissem classificar os trabalhos das pesquisas publicados, nas três categorias SIM (Existem Efeitos Biológicos), NÃO (Não Existem Efeitos Biológicos) e NÃO AVALIADOS (Não houve conclusões).

As informações registradas referem-se a diferentes áreas de pesquisas, tais como:

- Expressão genética;
- Avaliação comportamental;
- Avaliação de carcinogênese;
- Avaliação da atividade cerebral.

Nas pesquisas registradas foram observadas diferentes abordagens metodológica e experimental, tornando impossível a comparação direta. Organizou-se e registrou-se as informações, considerando:

- Faixa de Frequências (selecionou-se somente pesquisas na faixa de frequência da telefonia celular);

- Fontes de Consulta (foram registrados no banco de dados as pesquisas publicadas, em Portais Nacionais e Internacionais, (“*Abstracts*” e/ou textos completos), tais como:
 - ✓ ACEL: Associação Nacional das Operadoras de Celular
 - ✓ ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações
 - ✓ BBC *news*
 - ✓ CAPES: Portal Brasileiro de Informação Científica
 - ✓ Comunidade *wireless* Brasil - Portal Independente
 - ✓ CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
 - ✓ *Healthy Physics: The Radiation Safety Journal*
 - ✓ ICNIRP: *International Commission on Nonionizing Radiation Protection*
 - ✓ IEEE: *Institute of Electrical and Eletronics Engineers*
 - ✓ INATEL: Instituto Nacional de Telecomunicações
 - ✓ IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas
 - ✓ NCBI: *National Library of Medicine*
 - ✓ OIT: Organização Internacional do Trabalho
 - ✓ OMS: Organização Mundial de Saúde
 - ✓ PUB MED: *Biomedical literature citations/abstracts/fulltext*
 - ✓ PUC-RJ: Pontifícia Universidade Católica – RJ
 - ✓ Revista da Associação Médica Brasileira
 - ✓ UFCG: Universidade Federal Campina Grande – Paraíba
 - ✓ UFRGS: Universidade Federal Rio Grande do Sul
 - ✓ UFSC: Universidade Federal Santa Catarina
 - ✓ UIT: União Internacional de Telecomunicações
 - ✓ UNICAMP: Universidade de Campinas
 - ✓ USP: Universidade de São Paulo
 - ✓ WHO: *World Healthy Organization*

5.4 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Analisou-se cerca de 900 publicações, tendo sido selecionadas, para cadastro e registro no banco de dados, pesquisas de cientistas, entidades e/ou instituições com respeitabilidade

nacional e internacional no mundo acadêmico, priorizadas as classificações QUALIS A e B, com escolhas aleatórias, evitando resultados tendenciosos.

QUALIS é uma classificação feita pela CAPES (Portal Brasileiro de Informação Científica) dos veículos utilizados pelos programas de pós-graduação para a divulgação da produção intelectual de seus docentes e alunos. Essa classificação é feita por 44 comissões de consultores, cada qual focalizando um conjunto específico de áreas do conhecimento, e se baseia nas informações fornecidas pelos programas, por meio da coleta de dados/capes, sobre os trabalhos publicados, enquadrando-o em uma categoria indicativa de sua qualidade – “A” alta, “B” média, ou “C” baixa – e em outra referente ao âmbito de sua circulação – internacional, nacional ou local.

O QUALIS forneceu um indicador da qualidade para o banco de dados, do âmbito de circulação dos mais de quarenta mil veículos hoje sistematicamente utilizados para a divulgação dos trabalhos técnicos e científicos dos programas de pós-graduação (CAPES).

5.5 CLASSIFICAÇÃO POR MÓDULOS

Com o objetivo de viabilizar a organização dos registros e conseqüente facilidade na obtenção dos dados, catalogou-se os efeitos biológicos, independente dos resultados (positivo, negativo ou não avaliado), em onze módulos, respectivamente:

- Câncer

Neste módulo foram registradas pesquisas de câncer e a exposição à radiação não ionizante.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Bioelectromagnetics* de Maio de 2006, sob o título “*Estimation of relative exposure levels for cellular phone users using a neural network*”, onde os Drs. *Kim SC, Nam KC, Kim DW.* (pesquisadores do *Graduate School of Bio & Information Technology, Hankyong National University, Anseong, Korea.*) concluem que: “*Using the relative exposure levels obtained from this model, epidemiologists can divide the subjects into exposed and nonexposed groups in a study investigating the relationship between exposure level and brain cancer in the future, provided that more knowledge between the cellular phone usage pattern and the exposure is available*”.

- Cérebro

Neste módulo foram registradas pesquisas referentes às atividades cerebrais e a exposição à radiação não ionizante.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *BBC BRASIL* e do jornal acadêmico *Occupational Environmental Medicine* de 08 de Outubro de 2007, sob o título “Usar celular por mais de 10 anos ‘eleva risco de câncer’”, onde o Drs. *Kim SC, Nam KC, Kim DW*. (pesquisadores da *Orebro University*, na Suécia) concluem que: “O uso prolongado do celular aumenta em duas vezes e meia o risco de neuromas do acústico e em duas vezes o risco de glioma (tumor maligno que afeta células do cérebro)”.

Os cientistas suecos querem uma revisão dos padrões internacionais de controle de emissão de radiação por celulares e outras fontes. Em setembro de 2007, um estudo apresentado na conferência anual da Academia Americana de Otorrinolaringologia, em Washington, afirmou que usar o telefone celular mais de uma hora por dia pode causar danos à audição.

- Diversos

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre diferentes efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante, que não se enquadravam nos módulos específicos, conforme exemplos:

- Exposição à radiação pela população próxima às ERB's
- Análise da Audição e a exposição à radiação;
- Análise da Visão e a exposição à radiação;
- Análise dos Implantes (ex: marcapassos) e a exposição à radiação;
- Comportamento dos motoristas durante a utilização dos terminais celulares;
- Análise de Riscos da exposição à radiação;
- Princípio da Precaução e a exposição à radiação;
- Saúde Pública e a exposição à radiação;
- Densidade Óssea pela exposição à radiação;
- Estresse pela exposição à radiação;
- Sistemas biológicos e a exposição à radiação.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Ned Tijdschr Geneeskd*, de 28 de Abril de 2007, sob o título “*Electromagnetic fields: damage to health due to the placebo (inert substance that causes harmful effects)*”, onde o Dr. *Bonneux L.*, (pesquisador da *Nederlands Interdisciplinair Demografisch Instituut, Postbus 11.650, 2502 AR Den Haag*), conclui que: “*The placebo hypothesis states that expectations of sickness cause sickness in the expectant individual. Maintaining anxiety by fostering doubts in gullible populations about the quality of the environment they live in may cause serious mental illness. Anxiety caused by health scares is an increasing public health problem, which should be addressed in its own right.*”

- Doenças Neurodegenerativas

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre o efeito biológico Alzheimer's e a exposição à radiação não ionizante.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Epidemiology* de 14 de Julho de 2003 , sob o título “*Neurodegenerative diseases in welders and other workers exposed to high levels of ELF-MF*”, onde os Drs. *Hakansson N, Gustavsson P, Johansen C, Floderus B.* (pesquisadores do *Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden*) concluem que: “*The findings support previous observations of an increased risk of Alzheimer's disease and ALS (amyotrophic lateral sclerosis) among employees occupationally exposed to ELF-MF. Further studies based on morbidity data are warranted*”.

- Gônadas

Neste módulo registrou-se pesquisas sobre as funções fisiológicas e tumores e a exposição à radiação não ionizante.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Arch Androl.* de Jan-Fev de 2006 sob o título “*Growing concern over the safety of using mobile phones and male fertility*”, onde os Drs. *Derias EM, Stefanis P, Drakeley A, Gazvani R, Lewis-Jones DI.* (pesquisadores do *Hewitt Centre for Reproductive Medicine, Liverpool Women's Hospital, Liverpool, UK.*) citam que: “*Electromagnetic waves can inflict their results through both thermal and non-thermal effects. There are many animal studies that show that electromagnetic waves have a wide range of damaging effects on the male reproductive system and sperm parameters*”.

- Hospitalar

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre as interferências em equipamentos médicos expostos à radiação não ionizante, nos hospitais.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Mayo Clin Proc.* de Outubro de 2005, sob o título “*Cellular telephone interference with medical equipment.*”, onde os Drs. *Tri JL, Severson RP, Firl AR, Hayes DL, Abenstein JP.* (pesquisadores do *Division of Foundation Telecommunications and Network Services, Mayo Clinic College of Medicine, Rochester, MN 55905, USA*) citam que: “*Cellular telephones can interfere with medical equipment. Technology changes in both cellular telephones and medical equipment may continue to mitigate or may worsen clinically relevant interference*”.

- Infantil

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre os efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante, em crianças e adolescentes.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Int J Radiat Biol.* de Junho de 2006, sob o título “*Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task*”, onde os Drs. *Krause CM, Bjornberg CH, Pesonen M, Hulten A, Liesivuori T, Koivisto M, Revonsuo A, Line M, Hamalainen H.* (pesquisadores do *Cognitive Science Unit, Department of Psychology, University of Helsinki, Finland.*) concluem que: “*The current findings suggest that EMF emitted by mobile phones has effects on brain oscillatory responses during cognitive processing in children*”.

- Ocupacional

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre os efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante, ocupacional, tais como superexposição, legislação e riscos.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Am J Epidemiol.* de Setembro de 2006, sob o título “*Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany.*” onde os Drs. *Berg G, Spallek J, Schüz J, Schlehofer B, Böhler E, Schlaefer K, Hettinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M, Interphone Study Group, Germany* (pesquisadores do *Department of Epidemiology and International Public Health, Faculty of Public Health, University of Bielefeld, Bielefeld, Germany. Den Haag*), concluem que: “*For glioma, the adjusted odds ratio for highly exposed persons compared with persons not highly*

exposed was 1.21 (95% confidence interval: 0.69, 2.13); for meningioma, it was 1.34 (95% confidence interval: 0.64, 2.81). However, the slight increase in risk observed with increasing duration of exposure merits further research with larger sample sizes.”

- **Pele - SAR (Specific Area Rate)**

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre os efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante, na pele e SAR, tais como atividades eletrodérmicas (aquecimento, resistência, absorção de energia) e dosimetria.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Phys Med Biol.* de Setembro de 2005, sob o título “*On the safety assessment of human exposure in the proximity of cellular communications base-station antennas at 900, 1800 and 2170 MHz.*” onde os Drs. *Martinez-Burdalo M, Martin A, Anguiano M, Villar R.* (pesquisadores do *Consejo Superior de Investigaciones Cientificas, Instituto de Fisica Aplicada, C/Serrano 144, 28006 Madrid, Spain*) concluem que: “*This paper shows that, for antenna-body distances in the near zone of the antenna, the fact that averaged) field values be below the reference levels could, at certain frequencies, not guarantee guidelines compliance based on basic restrictions”.*

- **Proteínas HSP (Heat Schock protein)**

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre os efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante, nas proteínas principalmente nas HSP 27 e P 53.

Como exemplos de pesquisas cadastradas no banco de dados, citam-se as publicações:

- 1 - *Nature Genetics* de 27, 67 de 2001, *doi:10.1038/87172*, sob o título “*Proteomics: new way to to determine possible biological effects of mobile phone radiation*” onde os Drs. *Dariusz Leszczynski & Sakari Joenväärä,* (pesquisadores do *Radiobiology Laboratory, STUK–Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland*) concluem que: “*We obtained a comprehensive overview of the possible extent of cellular response to RF-EMF irradiation by determining the total cellular changes in protein expression and in protein phosphorylation that occur in response to RF-EMF exposure under athermal conditions...RF-EMF exposure has generated a large number of newly phosphorylated proteins that were not present in controls. Among the*

proteins with altered phosphorylation levels were shock proteins, such as hsp27. Thus the expression and phosphorylation of a large number of proteins isolated from EA.hy926 cells seems to be altered by short RF-EMF exposure, suggesting that cells mount a vigorous response to RF-EMF stress. However, whether the observed stress can cause long-lasting physiological effects remains to be determined”.

- 2 - *Biochem J.* de Agosto de 2007, sob o título “*Mechanism of short-term ERK (extracellular-signal-regulated kinase) activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies*” onde os Drs. *Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, Seger R.* (pesquisadores do *Department of Biological Regulation, The Weizmann Institute of Science, Rehovot 76100, Israel*) concluem que: “*Thus this study demonstrates for the first time a detailed molecular mechanism by which electromagnetic irradiation from mobile phones induces the activation of the ERK (extracellular-signal-regulated kinase) cascade and thereby induces transcription and other cellular processes*”.

- 3 - *Environmental Health Perspectives* de Setembro de 2005, volume 113, número 9, sob o título: “*Microwaves from GSM Mobile Telephones Affect 53BP1 and γ -H2AX Foci in Human Lymphocytes from Hypersensitive and Healthy Persons*” onde os Drs. *Eva Marková,1,2 Lena Hillert,3,4 Lars Malmgren,5 Bertil R. R. Persson,6 and Igor Y. Belyaev 1,7* (pesquisadores dos respectivos: *1Department of Genetics, Microbiology and Toxicology, Stockholm University, Stockholm, Sweden; 2Laboratory of Molecular Genetics, Cancer Research Institute, Bratislava, Slovak Republic; 3Occupational and Environmental Health, Stockholm County Council, Stockholm,Sweden; 4Department of Public Health Sciences, Division of Occupational Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden; 5MAX-lab, Lund University, Lund, Sweden; 6Department of Medical Radiation Physics, Lund University Hospital, Lund, Sweden) 7Laboratory of Radiobiology, General Physics Institute, Russian Academy of Science, Moscow, Russia) concluem que: “*Nonthermal MWs (microwaves) from GSM mobile telephones at lower levels than the ICNIRP safety standards affect 53BP (p53-binding protein) and γ -H2AX (phosphorylated histone H2AX)**

foci and chromatin conformation in human lymphocytes. These effects suggest induction of stress response and/or DNA damage. For the first time, we report that mobile telephone MWs affect 53BP1 and γ -H2AX foci dependent on carrier frequency”.

4 - *Int J Radiat Biol.* de Maio de 2002, sob o título: “*Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5W/kg in human glioma MO54 cells*” onde os Drs. *Tian F, Nakahara T, Wake K, Taki M, Miyakoshi J.* (pesquisadores do *Department of Radiation Genetics, Graduate School of Medicine, Kyoto University, Yoshida-Konoe-cho, Sakyo-Ku, Kyoto 606-8501, Japan*) concluem que: “*HFEMF (high-frequency electromagnetic field) can produce an increased level of hsp70 (heat-shock protein 70) expression in MO54 cells at SAR levels above 20 W/kg, even when the effect of raised temperature is taken into account*”.

- Tireóide

Neste módulo foram registradas pesquisas sobre os efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante na tireóide, tais como disfunções, hipotireoidismo e riscos.

Como exemplo das pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Environ Res.* de Novembro de 2005, sob o título “*The effect of extremely low-frequency electromagnetic fields on skin and thyroid amine- and peptide-containing cells in rats: An immunohistochemical and morphometrical study*”, onde os Drs. *Rajkovic V, Matavulj M, Johansson O,* (pesquisadores do *Department of Biology, Faculty of Sciences, Trg Dositeja Obradovica 2, Novi Sad 21000, Sia and Montenegro; Experimental Dermatology Unit, Department of Neuroscience, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden*) concluem que: “*A significantly increased number of serotonin-positive MCs (mast cells) in the skin and NPY (neuropeptide Y) containing nerve fibers in the thyroid of rats exposed to EMF (electromagnetic fields) was found compared to controls, indicating a possible EMF effect on skin and thyroid vasculature*”.

Nas pesquisas em que foram citados mais de um efeito biológico, foi escolhido somente um para ser registrado nas respectivas tabelas, conforme exemplos:

- Na mesma publicação, foi pesquisado o câncer infantil e a leucemia, só um dos dois efeitos biológicos foi registrado no módulo “Infantil”.

Como exemplo das pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *J Cell Physiol.* de Fevereiro de 2004, sob o título: “*Exposure to 900 MHz electromagnetic field induces an unbalance between pro-apoptotic and pro-survival signals in T-lymphoblastoid leukemia CCRF-CEM cells*”, onde os Drs. *Marinelli F, La Sala D, Ciccioiti G, Cattini L, Trimarchi C, Putti S, Zamparelli A, Giuliani L, Tomassetti G, Cinti C.*, (pesquisadores do *Institute for Organ Transplantation and Immunocytology, ITOI-CNR, Bologna unit, c/o IOR, Bologna, Italy*), citam que: “*Epidemiological studies on association between childhood cancers, particularly leukemia and brain cancer, and exposure to low- and high-frequency EMF suggested an etiological role of EMFs in inducing adverse health effects. Overall our results indicate that exposure to 900 MHz continuous wave, after inducing an early self-defense response triggered by DNA damage, could confer to the survivor CCRF-CEM cells a further advantage to survive and proliferate*”.

- Na mesma publicação, foram pesquisados os gliomas e meningiomas, mas só um dos dois efeitos biológicos foi registrado no módulo “Cérebro”.

Como exemplo das pesquisa cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Am J Epidemiol.* de Março de 2007, sob o título: “*Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany)*”, onde os Drs. *Schuz J, Bohler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schlaefel K, Wahrendorf J, Kunna-Grass K, Blettner M.* (pesquisadores do *Institute of Medical Biostatistics, Epidemiology and Informatics, Johannes Gutenberg-University of Mainz, Mainz, Germany.* <joachim@cancer.dk>), citam que: “*In conclusion, no overall increased risk of glioma or meningioma was observed among these cellular phone users; however, for long-term cellular phone users, results need to be confirmed before firm conclusions can be drawn*”.

5.6 PALAVRAS-CHAVE

As palavras-chave utilizadas foram escolhidas de modo a não pré-selecionar os efeitos positivos, negativos ou incertos (não avaliados) como exemplo:

- “*Mobile phone*” and “*EMF*” (*Electric magnetic field*);
- “*Cellular Phone*” and “*EMF*” (*Electric magnetic field*);
- “*Biological Effects*” and “*Mobile phone*”;
- “*Biological Effects*” and “*Cellular Phone*”;
- “*Biological Effects*” and “*Non Ionizing Radiation*”;
- “*Mobile phone*” and “*Non Ionizing Radiation*”;
- “*Safety*” and “*Cellular Phone*”;
- “*Safety*” and “*Mobile phone*”;
- Efeitos Biológicos e Campo Elétrico magnético;
- Efeitos Biológicos e Radiação Não Ionizante;
- Efeitos Biológicos e Telefone Celular;
- Efeitos Biológicos e Sistema Móvel Celular.

5.7 ESTRUTURA DO BANCO DE DADOS:

O banco de dados foi estruturado através do desenvolvimento de quatro bases de dados respectivamente interligadas (CINTO; GÓES, 2005):

- Banco de Dados desenvolvido em Excel, com os dados das trezentas e noventa e sete pesquisas selecionadas, distribuídas por módulos (item 5.5).

O primeiro estágio foi o de “análise e seleção”. Após a análise de várias pesquisas publicadas, selecionou-se trezentas e noventa e sete, que foram organizadas e distribuídas pelos onze módulos e seqüencialmente:

- ✓ Por código (numeração por pesquisa);
- ✓ Por tipo de efeito biológico (classificação do tipo de efeito biológico);
- ✓ Por resultados (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por tipo de efeito térmico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por conclusão;
- ✓ Por País.

- Banco de Dados desenvolvido em Access, com os dados das pesquisas publicadas, registradas por módulos.

O segundo estágio foi o de “cadastramento dos dados”. Após selecionar os dados das trezentas noventa e sete pesquisas, foi disponibilizado, organizado, e cadastrado em telas Access, por abstracts e/ou artigos completos e distribuído pelos onze módulos seqüencialmente:

- ✓ Por código (numeração por tela de pesquisa);
- ✓ Por resultado de efeito biológico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por tipo de efeito térmico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por tipo de modelo biológico (“*in vivo*” ou “*in vitro*”);
- ✓ Tipo de cobaia (descrição da cobaia utilizada);
- ✓ Por tipo de efeito biológico (descrição do efeito biológico);
- ✓ Pelo título (título da publicação);
- ✓ Por autor (es) (nome e *e-mail* do autor (es));
- ✓ Por entidades (Instituições de pesquisas que o (s) autor (es) representa (m));
- ✓ Por País (nome do País da entidade a qual o (s) autor (es) representa (m));
- ✓ Por publicação (nome do órgão);
- ✓ Data de publicação (mês e ano);
- ✓ Resumo conclusivo da pesquisa (parágrafos conclusivos).

- Banco de Dados desenvolvido em Excel Avançado, com os dados das pesquisas publicadas, registrados em tabelas Excel, por módulos.

O terceiro estágio foi o de “registros em tabelas”. Após selecionar os dados das trezentas e noventa e sete pesquisas, cadastrados em telas Access, foi registrado em tabelas Excel Avançado e distribuído pelos onze módulos seqüencialmente:

- ✓ Por código (numeração por tela de pesquisa);
- ✓ Por resultado de efeito biológico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por tipo de efeito térmico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por tipo de modelo biológico (“*in vivo*” ou “*in vitro*”);
- ✓ Por descrição do efeito biológico (tipo de efeito biológico);
- ✓ Pelo título (título da publicação);
- ✓ Por autor (es) (nome e *e-mail* do autor (es));

- ✓ Por entidades (Instituições de pesquisas que o (s) autor (es) representa (m));
- ✓ Por País (nome do País da entidade a qual o (s) autor (es) representa (m));
- ✓ Por publicação (nome do órgão);
- ✓ *Link* direto com o banco de dados *Access*, de forma a obter o texto de cada pesquisa, automaticamente;
- ✓ Data de publicação (mês e ano);
- ✓ Resumo conclusivo da pesquisa (parágrafos conclusivos);
- ✓ Observações (registros de características específicas da pesquisa).

Conforme exemplo de telas do banco de dados, apresentado na figura 5.1.

Registro	Efeito Biológico (Sim, Não, Não conclusivo)	Efeito Térmico (Sim, Não, Não avaliado)	Vivo/Vitro	Tipo
1	Sim	Não	Vitro	Proteínas
2	Não	Não avaliado	Vivo	Cancer cérebro
3	Não conclusivo	Não avaliado	Vivo	Dosimetria

Título da Publicação	Autor
(1)"Proteomics: new way to to determine possible biological effects of mobile phone radiation"	"Dariusz Leszczynski & Sakari Joenväärä "
(2)"Mobile telephones and rates of brain cancer"	"Muscat JE,Hinsvark M, Malkin M. "
(3)"Dosimetric evaluation and comparison of different RF exposure apparatuses used in human volunteer studies."	"Boutry CM, Kuehn S, Achermann P, Romann A, Keshvari J, Kuster N."

Entidade	País	Publicação
(1)"Radiobiology Laboratory, STUK–Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki,"	Finlândia	"Nature Genetics 27, 67 (2001) doi:10.1038/87172"
(2)"Malkin M. Penn State College of Medicine, 500 University Blvd., MC H 069 Hershey, PA 17033, jmuscat@psu.edu"	EUA	"Neuroepidemiology 2006;27(1):55-6. Epub 2006 Jul 3 "PMID:16825795"

(3)"Foundation for Research on Information Technologies in Society, ETH Zurich, "

Suíça

["Bioelectromagnetics. 10 "PMID: 17694536](#)

Data Ano	Data Mês	Resumo
(1)2004	DEZ	"Suggesting that cells mount a vigorous response to RF-EMF stress. However, whether the observed stress can cause long-lasting physiological effects remains to be determined."
(2)2006	JUL	"These results indicate that mobile phone use is unrelated to the risk of neuronal cancers"
(3)2007	AGO	"Shows that studies can only be properly compared and replicated if sufficiently detailed dosimetric information is available"

Figura 5.1 - Telas representativas do banco de dados

- Banco de dados desenvolvido em Excel Avançado, gerando tabelas e gráficos dos dados das pesquisas publicadas.

O quarto estágio foi o de “tratamento dos dados registrados”. Após, os dados das trezentas e noventa e sete pesquisas selecionadas, foram registrados em tabelas Excel Avançado, e tratados, gerando tabelas e gráficos.

Tabela Total Geral (Linhas e colunas descritivas dos onze módulos):

- ✓ Por efeito biológico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por efeito térmico (sim, não, não avaliado);
- ✓ Por tipo de modelo biológico (“*in vivo*” ou “*in vitro*”);
- ✓ Por quantificação representativa dos últimos dez anos, distribuídos pelos onze módulos;
- ✓ Linhas e colunas de somatório geral dos dados registrados.

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS, TABELAS E GRÁFICOS.

A análise dos dados foi desenvolvida em duas etapas:

- A primeira, essencialmente exploratória, consistiu em uma análise descritiva dos dados através da elaboração de tabelas e gráficos.
- A segunda etapa foi uma inferência sobre os achados: comparação dos percentuais dos resultados observados do efeito biológico e efeito térmico (sim, não, não avaliado) a partir do teste Qui-quadrado considerando 5% de nível de significância ($p < 0,05$).

O processamento estatístico foi realizado no programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*) (SAS Institute Inc, 1990).

A primeira fase exploratória, através da análise descritiva dos dados, devidamente registrada por módulos, permitiu a elaboração das tabelas e gráficos, apresentados no item 5.10.

5.9 TRATAMENTO DOS DADOS REGISTRADOS

Através da observação da seqüência dos efeitos biológicos investigados, apresenta-se figuras representativas para se chegar a algumas conclusões. Essas conclusões são provenientes do tratamento dos dados registrados no banco de dados, extraídos do universo de trezentas e noventa e sete pesquisas analisadas, selecionadas e cadastradas, publicadas pelos quarenta e dois países, no período em estudo (últimos dez anos) evidenciando tendências de interesse, ou seja, a presença de efeitos biológicos (sim, não e não avaliado) e a presença de efeitos térmicos.

Ratifica-se que em todas as fases da elaboração do banco de dados foram observados critérios de absoluta imparcialidade, evitando resultados tendenciosos (SAS Institute Inc., 1990).

5.10 RESULTADOS

5.10.1 Número de Publicações por Ano

Observando a série histórica do número de publicações no período em estudo, evidenciou-se, uma tendência crescente de 2000 a 2006, conforme mostra a figura 5.2, com a contabilização das publicações com as informações do ano.

Em 2006 verificou-se a maior quantidade de publicações, representando 35% do total de publicações registradas no banco de dados.

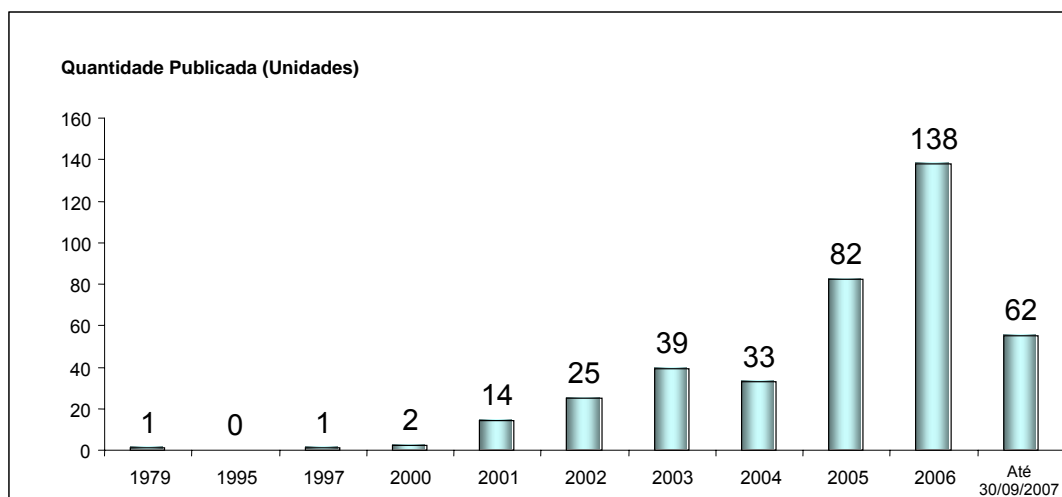


Figura 5.2 - Número de Publicações por Ano

O decréscimo no número de publicações entre os anos de 2006 e 2007 ocorreu, por decisão da autora, pela interrupção do cadastramento das pesquisas no banco de dados, que foi encerrado em 30/Set/2007 para que viabilizasse a construção gráfica dos dados registrados.

Durante a elaboração do banco de dados, observou-se que a maioria das publicações ocorreu no final dos semestres. Assim, no ano de 2007, praticamente só foi cadastrado o primeiro semestre.

5.10.2 Número de Publicações por País

A figura 5.3 apresenta o diagrama de blocos (gerado a partir da tabela 5.1), representativo dos quarenta e dois Países, com suas publicações selecionadas e cadastradas no banco de dados.

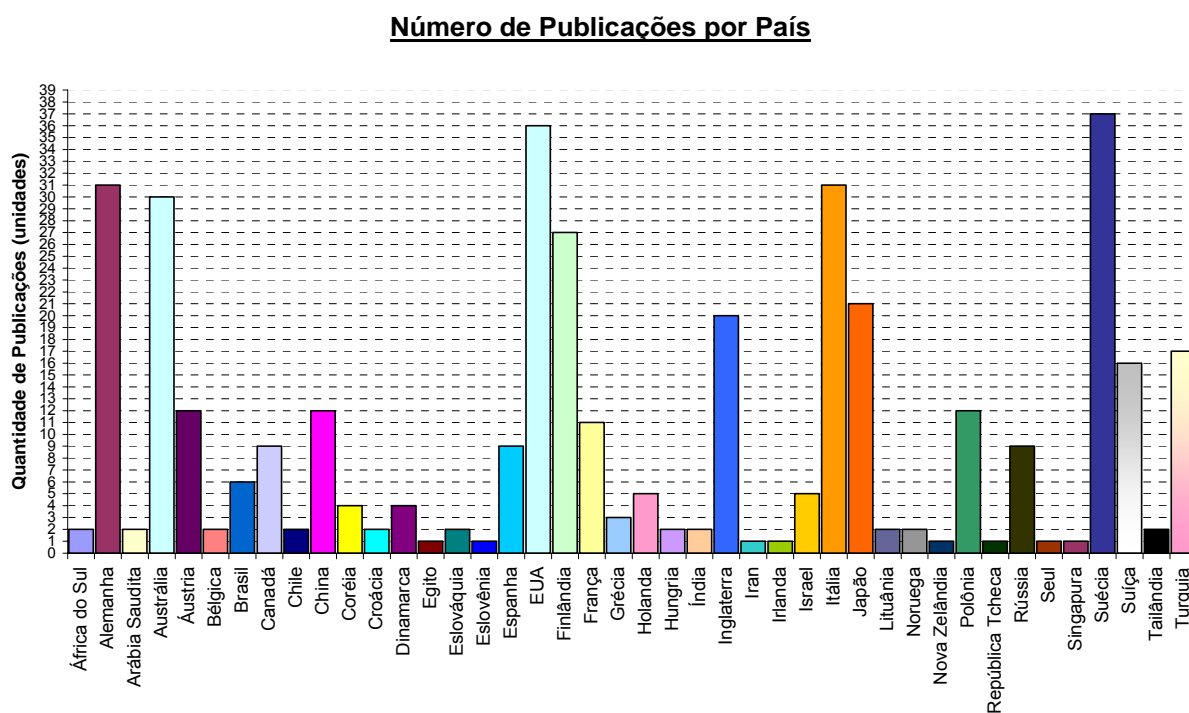


Figura 5.3 - Número de Publicações por País

A tabela 5.1 apresenta o total dos 42 Países, que tiveram suas publicações selecionadas, formatada em linhas e colunas descritivas, sequencialmente:

- Por identificação dos 42 Países;
- Pelo número total de publicações por País;
- Por efeito biológico (sim, não, não avaliado) de cada País;
- Por efeito térmico (sim, não e não avaliado) de cada País.

Tabela 5.1 - Número total de publicações por País

	TOTAL	Efeitos Biológicos (Efeito Térmico e/ou Não Térmico)			Efeitos Térmicos		
		Sim	Não	Não avaliado	Sim	Não	Não avaliado
África do Sul	2	1	0	1	1	0	1
Alemanha	31	13	13	5	4	0	26
Arábia Saudita	2	2	0	0	0	0	2
Austrália	30	22	6	2	3	0	27
Áustria	12	5	5	2	2	0	10
Bélgica	2	0	2	0	0	1	1
Brasil	6	4	1	1	2	0	4
Canadá	9	2	4	3	2	1	6
Chile	2	2	0	0	2	0	0
China	12	8	4	0	5	0	7
Coréia	4	2	0	2	2	0	2
Croácia	2	1	0	1	0	0	2
Dinamarca	4	0	3	1	0	0	4
Egito	1	1	0	0	0	0	1
Eslováquia	2	1	1	0	0	0	2
Eslovênia	1	0	0	1	0	0	1
Espanha	9	7	0	2	3	0	6
EUA	36	28	5	3	8	5	23
Finlândia	27	17	7	3	7	1	19
França	11	5	5	1	2	0	9
Grécia	3	3	0	0	2	0	1
Holanda	5	3	1	1	2	0	3
Hungria	2	2	0	0	1	0	1
Índia	2	1	1	0	0	0	2
Inglaterra	20	9	5	6	4	0	16
Iran	1	0	0	1	0	0	1
Irlanda	1	1	0	0	0	0	1
Israel	5	4	1	0	1	1	3
Itália	31	16	11	4	3	2	26
Japão	21	6	15	0	8	0	13
Lituânia	2	1	1	0	0	1	1
Noruega	2	1	1	0	1	0	1
Nova Zelândia	1	0	1	0	0	0	1
Polônia	12	7	1	4	2	0	10
República Tcheca	1	1	0	0	0	0	1
Rússia	9	7	0	2	2	0	7
Seul	1	0	1	0	1	0	0
Singapura	1	0	1	0	1	0	0
Suécia	37	30	5	2	3	1	33
Suíça	16	9	1	6	6	0	10
Tailândia	2	2	0	0	0	0	2
Turquia	17	14	3	0	3	0	14
>> TOTAL <<	397	238	105	54	83	13	301
		397			397		

5.10.3 Análises dos Efeitos Biológicos

Observando-se a seqüência dos efeitos biológicos (efeitos térmicos e/ou não térmicos) detectados nas publicações dos 42 Países selecionados, no período em estudo, evidencia-se a tendência (gerada a partir da tabela 5.1) apresentada no diagrama de blocos da figura 5.4.

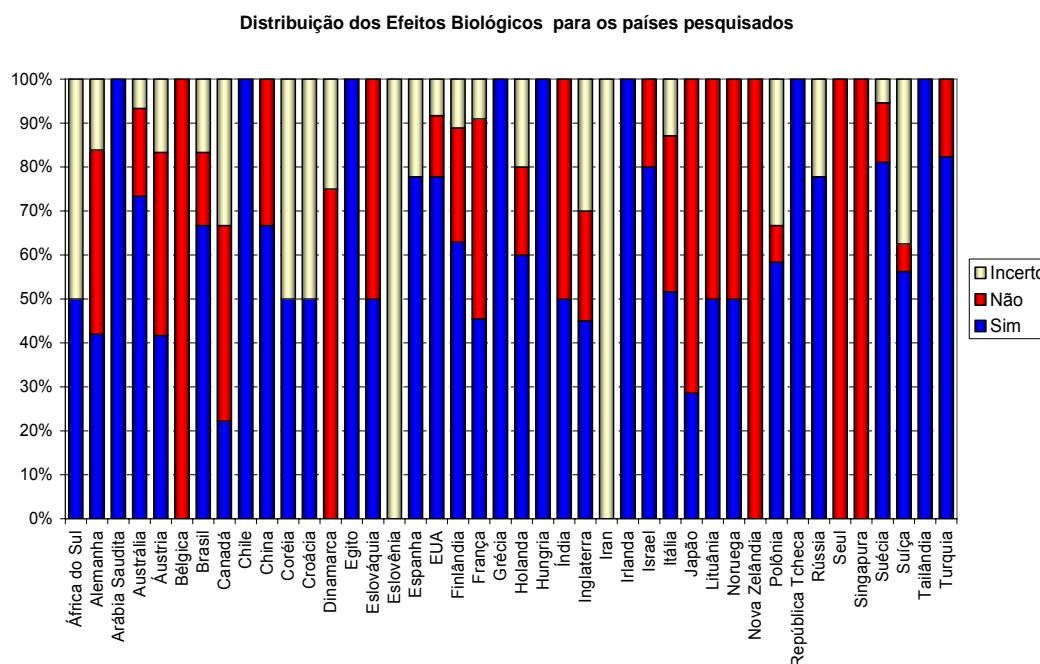


Figura 5.4 - Distribuição dos Efeitos Biológicos (efeitos térmicos e/ou não térmicos) para o total dos Países

5.10.4 Análises dos Efeitos Térmicos

Observando a seqüência dos efeitos térmicos no total dos 42 Países que mais publicaram no período em estudo, evidencia-se a tendência (gerada a partir da tabela 5.1) apresentada no diagrama de blocos da figura 5.5.

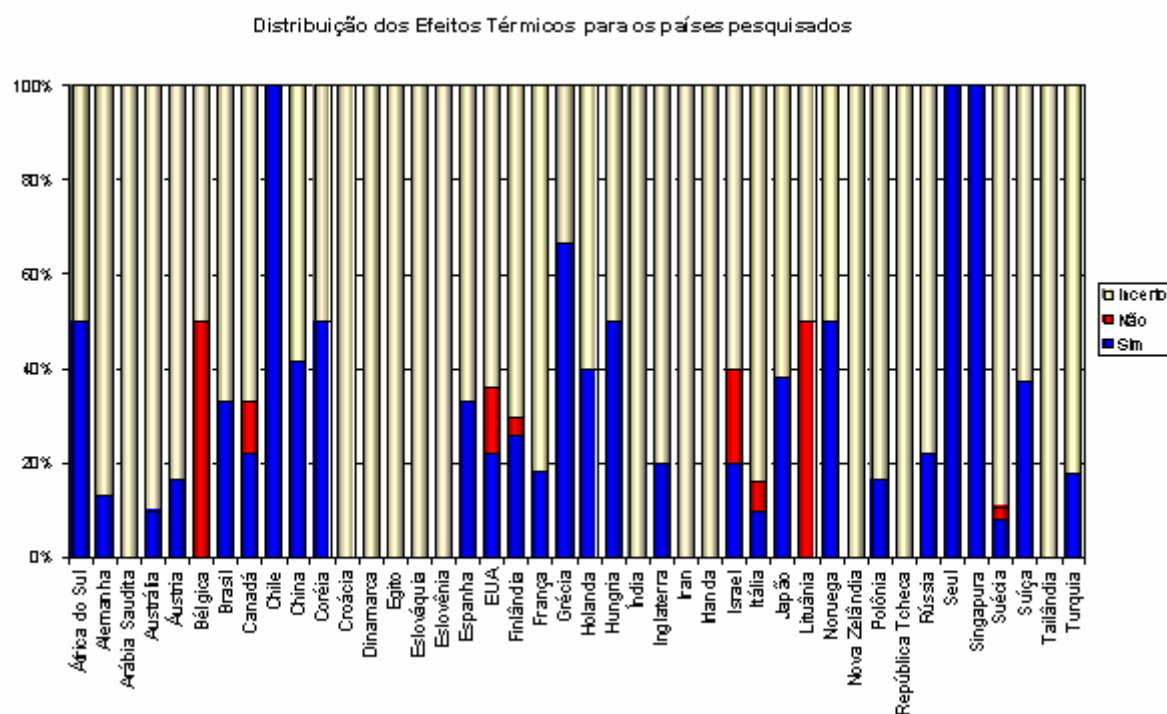


Figura 5.5 - Distribuição dos Efeitos Térmico por País pesquisado

5.10.5 Modelos Biológicos

Na distribuição dos modelos biológicos estudados na amostra das trezentas e noventa e sete publicações científicas em análise, observa-se que 82% dos estudos foram realizados *in vivo* e 18% em ensaios *in vitro*.

A tabela 5.2 apresenta a distribuição dos modelos biológicos estudados.

Tabela 5.2 - Distribuição dos Modelos Biológicos estudados nas publicações

Modelo Biológico	n	%
Vitro	73	18
Vivo	324	82
Total	397	100

$$\chi^2 = 712,5; p < 0,01.$$

(Onde: χ^2 é o valor Qui-quadrado e p é o valor de significância do teste)

Observando a seqüência dos modelos biológicos estudados na amostra das trezentas e noventa e sete publicações científicas em análise, no período em estudo, evidencia-se a tendência representada na figura 5.6.

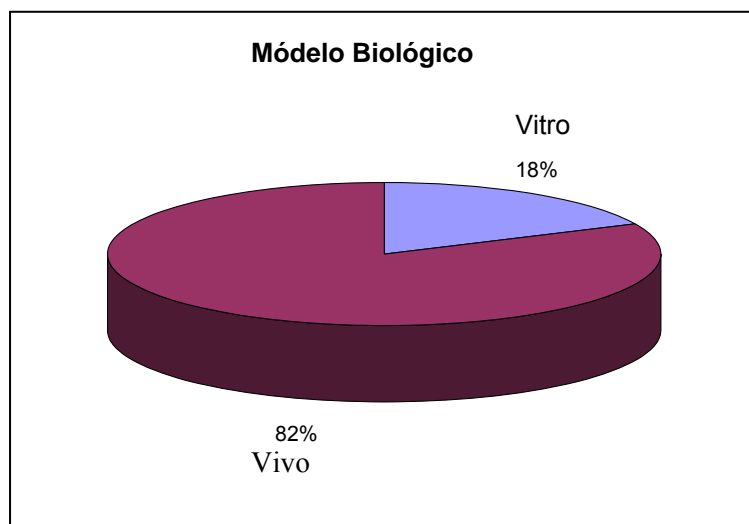


Figura 5.6 - Total das pesquisas cadastradas por Modelo Biológico

Como exemplo de pesquisa “*in vitro*” cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi*, de Maio de 2006, sob o título “*Effects of GSM 18000 MHz radiofrequency eletromagnetic fields on DNA damage in Chinese hamster lung cells*”, onde os Drs. *Zhang DY, Xu ZP, Chiang H, Lu DQ, Zeng QL*. (pesquisadores do *Bioeletromagnetics Laboratory, Zhejiang, University School of Medicine, Hangzhou 310031, China.*) concluem que: “...1800 MHz RF EMF (SAR, 3.0 W/kg) for 24 hours might induce DNA damage in CHL (Chinese hamster lung) cells”.

Como exemplo de pesquisa “*in vivo*” cadastrada no banco de dados, cita-se a publicação da *Bioelectromagnetics*. de Abril de 2006, sob o título “*Psychophysiological tests and provocation of subjects*”, onde os Drs. *Wilen J, Johansson A, Kalezic N, Lyskov E, Sandstrom M*. (pesquisadores do *National Institute for Working Life, Umea, Sweden.*), concluem que: “*This might be interpreted as a sign of differences in the autonomous nervous system regulation between persons with MP (mobile phones) related subjective symptoms and persons with no such symptoms*”.

5.10.6 Os dez Países com maior número de publicações

A figura 5.7 apresenta o diagrama de blocos (gerado a partir da tabela 5.4) representativo da tendência crescente representativa para os 10 Países que mais publicaram, representando 67% do total dos Países cadastrados no Banco de Dados.

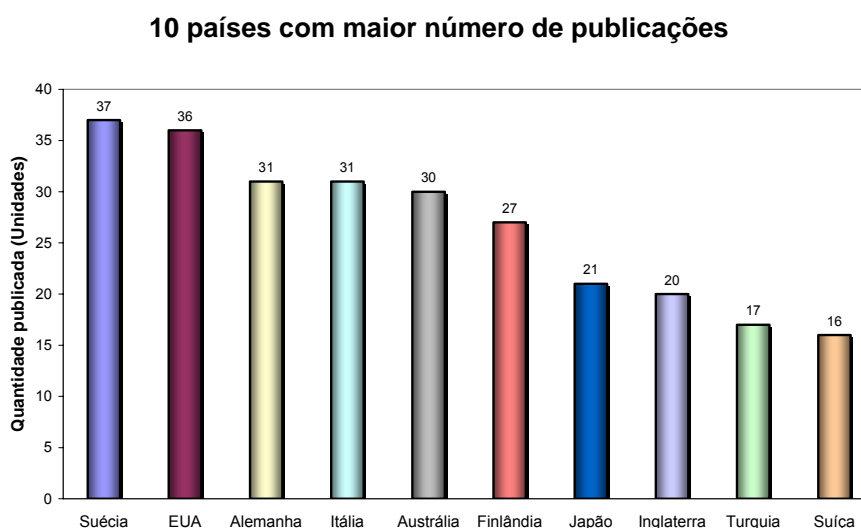


Figura 5.7 - Os 10 Países com maior número de publicações

Observando a seqüência do número de publicações por País no período em estudo evidencia-se uma tendência crescente representativa para os 10 Países que mais publicaram, como se observa na tabela 5.3, formatada em linhas e colunas descritivas, seqüencialmente:

- Por identificação dos 10 Países;
- Pelo número total de publicações por País;
- Por efeito biológico (sim, não, não avaliado) de cada País;
- Por efeitos térmicos/não térmicos (sim, não e não avaliado) de cada País.

Tabela 5.3 - Os 10 Países que mais publicaram

	Efeitos Biológicos (Efeito Térmico e/ou Não Térmico)				Efeitos Térmicos		
	TOTAL	Sim	Não	Não avaliado	SIM	Não	Não avaliado
Suécia	37	30	5	2	3	1	33
EUA	36	28	5	3	8	5	23
Alemanha	31	13	13	5	4	0	26
Itália	31	16	11	4	3	2	26
Austrália	30	22	6	2	3	0	27
Finlândia	27	17	7	3	7	1	19
Japão	21	6	15	0	8	0	13
Inglaterra	20	9	5	6	4	0	16
Turquia	17	14	3	0	3	0	14
Suíça	16	9	1	6	6	0	10
Total	266	164	71	31	49	9	207
		266			266		

5.10.7 Efeitos biológicos detetados nos 10 Países com maior número de publicações

Observando a seqüência dos efeitos biológicos detetados nos 10 Países que mais publicaram no período em estudo (gerado a partir da tabela 5.3), conforme representado no diagrama de blocos figura 5.8, evidencia-se as seguintes tendências:

- 62% apresentaram resultados de efeitos biológicos (Efeito Térmico e/ou Não Térmico) positivos;
- 27% apresentaram resultados de efeitos biológicos negativos;
- 11% apresentaram resultados de efeitos biológicos não conclusivos.

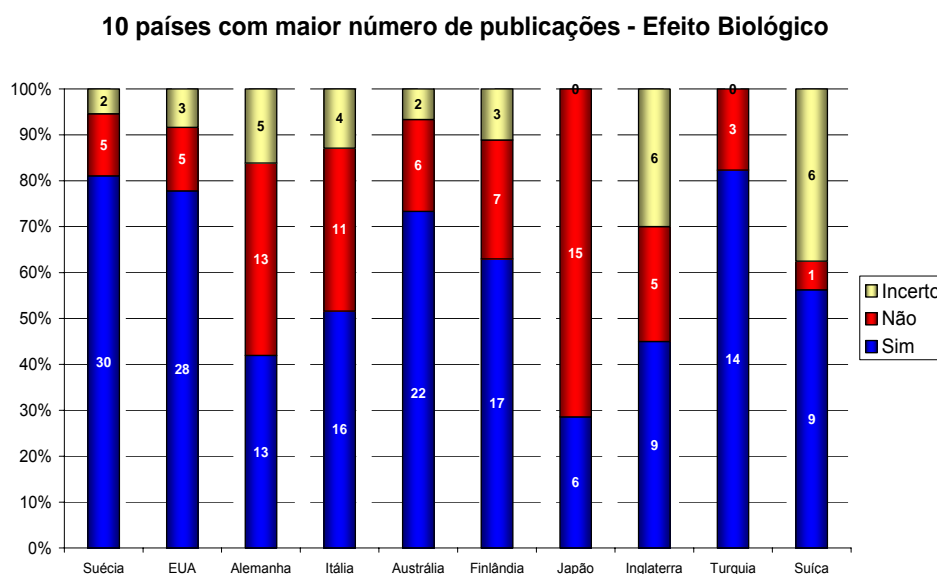


Figura 5.8 - Total dos 10 Países que mais publicaram por Efeito Biológico
(Efeito Térmico e/ou Não Térmico)

5.10.8 Os Efeitos Térmicos detetados nos 10 Países com maior número de publicações

Observando a seqüência dos efeitos térmicos nos 10 Países que mais publicaram no período em estudo (gerado a partir da tabela 5.3), conforme representado no diagrama de blocos figura 5.9, evidencia-se nas pesquisas relativas aos 10 Países representativos do Banco de dados que:

- 19% apresentaram resultados de efeitos térmicos positivos;
- 3% apresentaram resultados de efeitos térmicos negativos;
- 78% apresentaram resultados de efeitos térmicos, não conclusivos.

10 países com maior número de publicações - Efeito Térmico

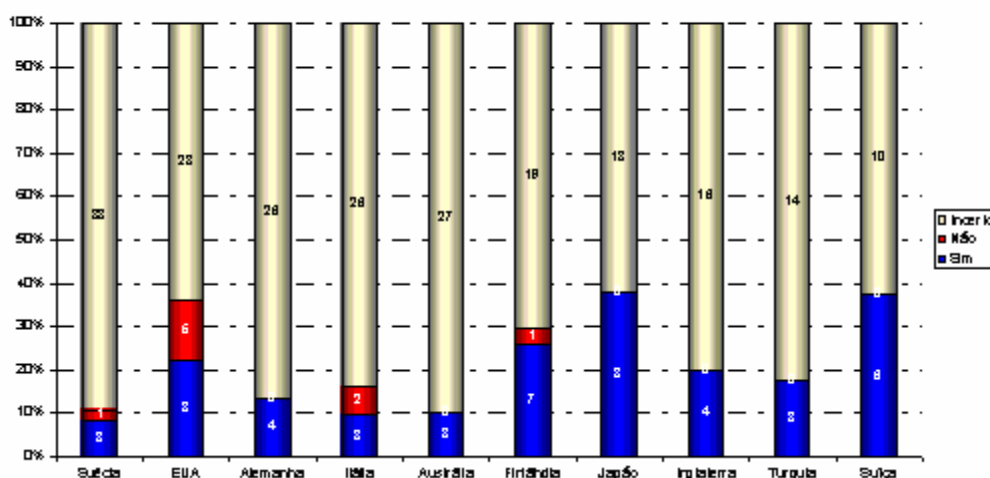


Figura 5.9 - Total da distribuição dos 10 Países que mais publicaram por Efeito Térmico

5.10.9 Número total de Publicações por Módulos

Observando o número de publicações distribuídas pelos 11 módulos, (conforme descrito no item 5.5) no período em estudo, evidencia-se uma tendência representada na figura 5.10.

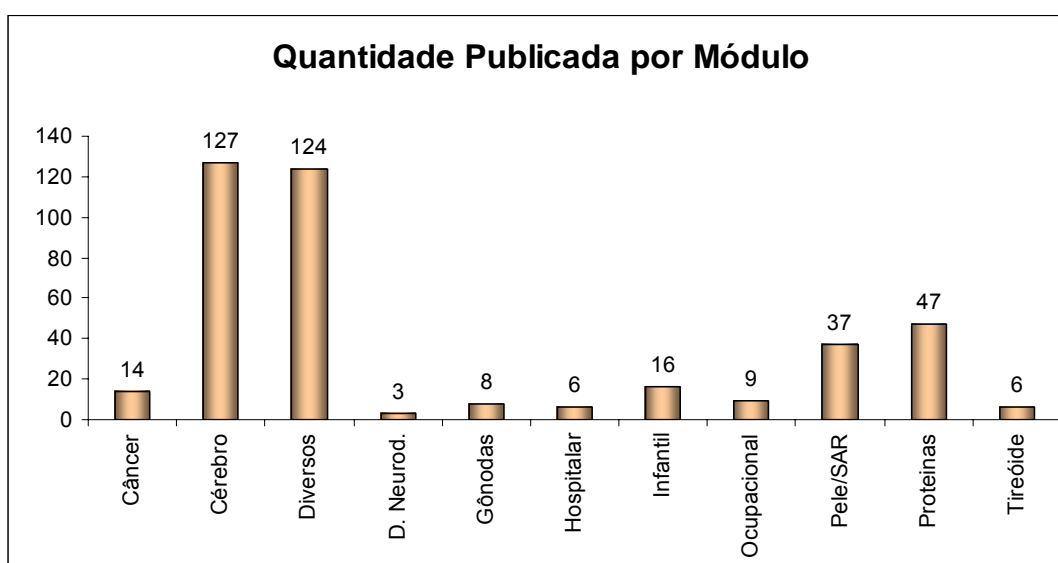


Figura 5.10 - Diagrama de blocos da quantidade publicada por Módulos

5.10.10 Distribuição das Publicações por Módulos

Evidencia-se a distribuição dos percentuais (%) para os 11 módulos, na figura 5.11.

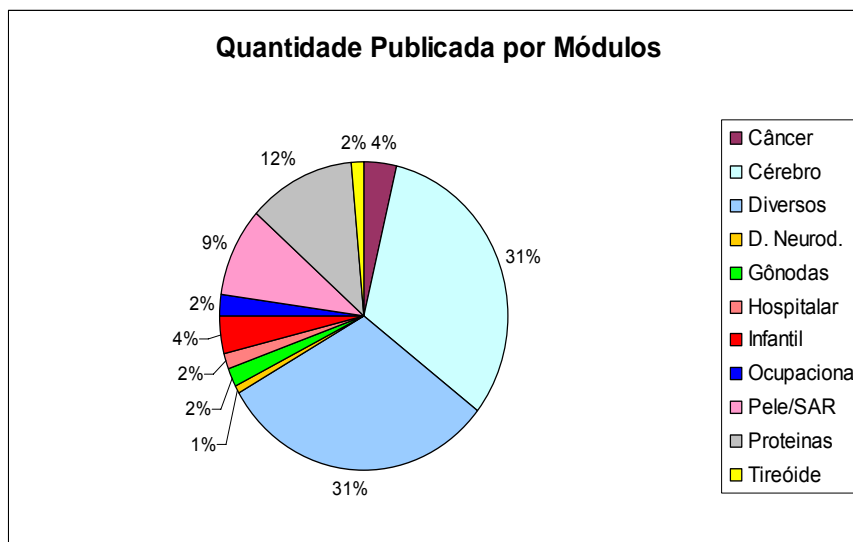


Figura 5.11 - Percentual da quantidade publicada por Módulos

5.10.11 Classificação dos Efeitos Biológicos por Módulos

Observando a seqüência dos efeitos biológicos nos 11 módulos, organizados e classificados (conforme descrito no item 5.5) evidencia-se a tendência representada no diagrama de blocos figura 5.12.

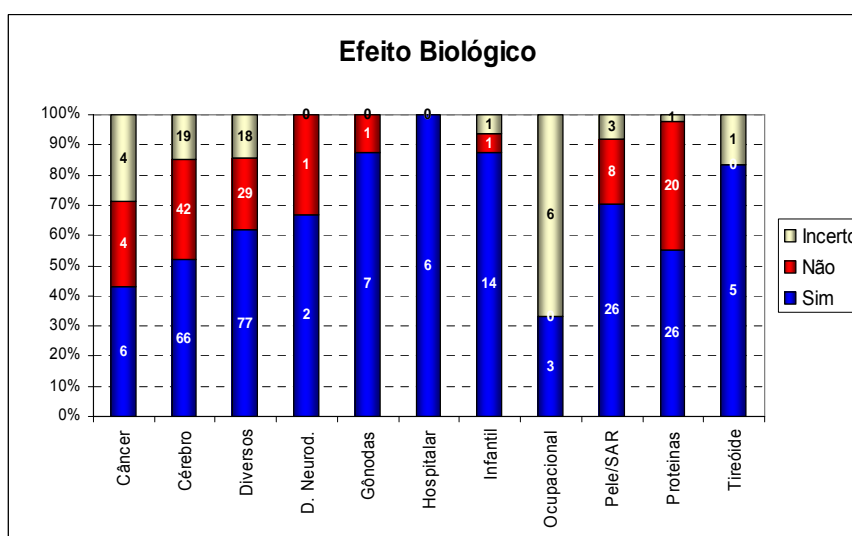


Figura 5.12 - Distribuição dos Efeitos Biológicos por Módulos

5.10.12 Classificação dos Efeitos Térmicos por Módulos

Observando na figura 5.13, a seqüência dos efeitos térmicos nos 11 módulos, organizados e classificados (conforme descrito no item 5.5) evidencia-se a tendência representada no diagrama de blocos figura 5.9.

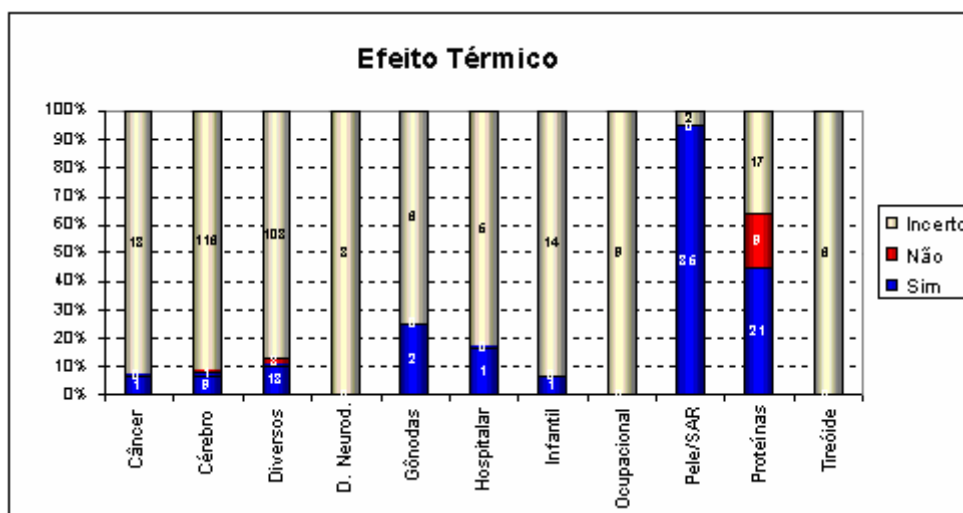


Figura 5.13 - Distribuição dos Efeitos Térmicos por Módulos

5.10.13 Os 4 efeitos biológicos mais citados nos 4 maiores módulos do Banco de Dados

Observando a seqüência dos efeitos biológicos nos 11 módulos, evidencia-se uma tendência de maior representatividade de 4 diferentes efeitos biológicos nos 4 módulos mais citados, conforme mostra a tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Os 4 Efeitos Biológicos mais citados por Módulos

	Glioma	Menigioma	neu.ac	cog.
Cérebro	5	3	6	7
	HSP27	HSP70	P53	Exp.gen
Proteína	8	7	3	4
	Câncer	Aquecimento	SAR	riscos
Pele	7	5	9	3
			ERB (Estação Rádio Base)	
	Aud. Vis.	riscos prec		saúde
Diversos	21	17	7	6

Observando a seqüência dos efeitos biológicos nos 11 módulos, evidencia-se uma tendência de distribuição dos 4 diferentes efeitos biológicos nos 4 maiores módulos, seqüencialmente representada pelas figuras a seguir:

- Módulo Cérebro

Efeitos Biológicos: Cognitivos, neuromas acústicos, glioma e meningiomas, representado na figura 5.14.

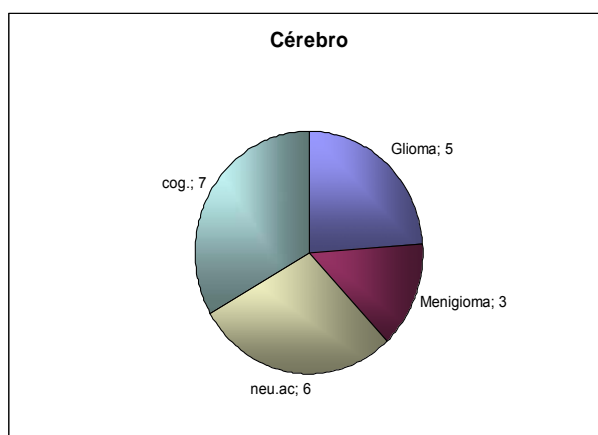


Figura 5.14 - Os 4 Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Cérebro

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados, do módulo cérebro de efeitos biológicos cognitivos, cita-se a publicação da *Int J Neurosci.* de Setembro de 2007, sob o título “*Electroencephalographic, personality, and executive function measures associated with frequent mobile phone use*”, onde os Drs. *Arns M, Van Luijtelaar G, Sumich A, Hamilton R, Gordon E.* (pesquisadores do *Brain Resource International Database, Brain Resource Company B.V., Nijmegen, The Netherlands*) concluem que: “*These changes are still within normal physiological ranges. Better executive function in mobile phone users may reflect more focused attention, possibly associated with a cognitive training effect (i.e., frequently making phone calls in distracting places), rather than a direct effect of mobile phone use on cognition*”.

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados do módulo cérebro de efeitos biológicos neuromas acústicos, gliomas e meningiomas cita-se a publicação da *Occup Environ Med.* de Abril de 2007, sob o título “*Long-term use of cellular phones and brain tumours - increased risk associated with use for > 10 years*”, onde os Drs. *Hardell LO,*

Carlberg M, Soderqvist F, Hansson Mild K, Morgan LL. (pesquisadores do Univ Hospital, Sweden) concluem que: “Results from present studies on use of mobile phones for > 10 years give a consistent pattern of an increased risk for acoustic neuroma , glioma e meningiomas, most pronounced for high-grade glioma. The risk is highest for ipsilateral exposure”.

- Módulo Proteína

Efeitos Biológicos: *Heat Schok Protein* HSP 27, *Heat Schok Protein* HSP 70, experiências genéticas e proteína P 53, representado na figura 5.15.

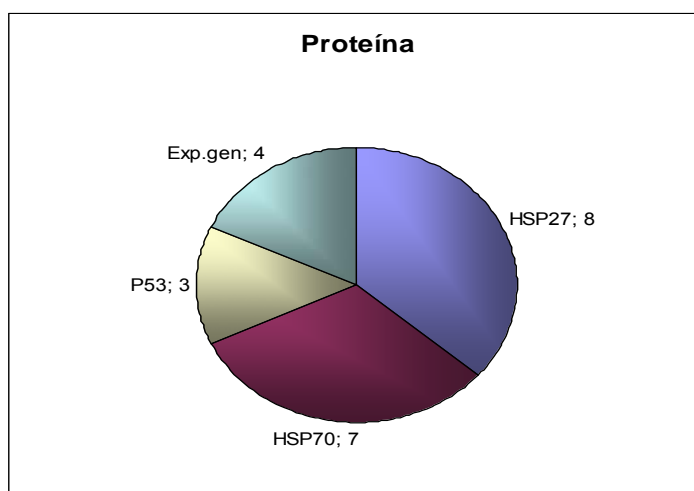


Figura 5.15 - Os 4 Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Proteínas

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados do módulo proteínas, de efeitos biológicos da *Heat schok Protein* (HSP), cita-se a publicação da *Bioelectromagnetics*. de Abril de 2006, sob o título “*Effects of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells*”, onde os Drs. Wang J, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J. (pesquisadores do Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hirosaki University, Hirosaki, Japan.) citam que: “Our results suggest that exposure to a 2450 MHz HFEMF has little or no apparent effect on HSP70 and HSP27 expression, but it may induce a transient increase in HSP27 Phosphorylation in A172 cells at very high SAR (>100 W/kg)”.

- Módulo Pele

Efeitos Biológicos: SAR (*Specific Area Rate*), Câncer, Aquecimento, Riscos, representado na figura 5.16.

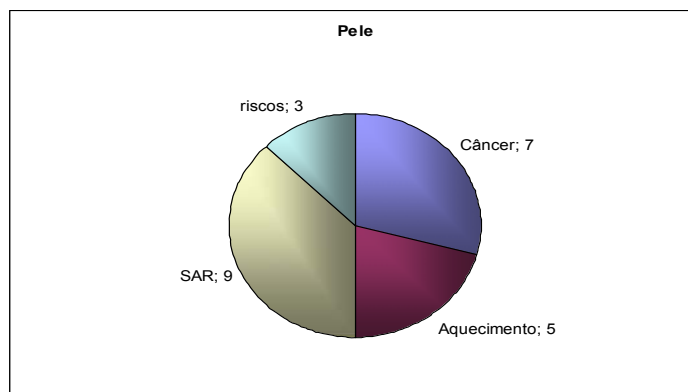


Figura 5.16 - Os 4 Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Pele

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados do módulo pele-SAR, de efeitos biológicos, cita-se a publicação da *Bioelectromagnetics*. de Fevereiro de 2007, sob o título “*Measurements of skin surface temperature during mobile phone use*”, onde os Drs. *Anderson V, Rowley J.* (pesquisadores do *THL Australia, St. Leonards, NSW, Australia. vitas@ieee.org.*) concluem que: “*Our results suggest that direct RF heating of the skin only contributes a small part of the temperature rise and that most is due to heat conduction from the handset*”.

- Módulo Diversos (descrito no item 5.5, como o módulo onde registrou-se as pesquisas sobre diferentes efeitos biológicos pela exposição à radiação não ionizante, que não se enquadravam nos demais módulos específicos).

Efeitos Biológicos: neuromas visuais, riscos e princípio da precaução, danos à saúde e ERB (Estação Rádio Base), representado na figura 5.17.

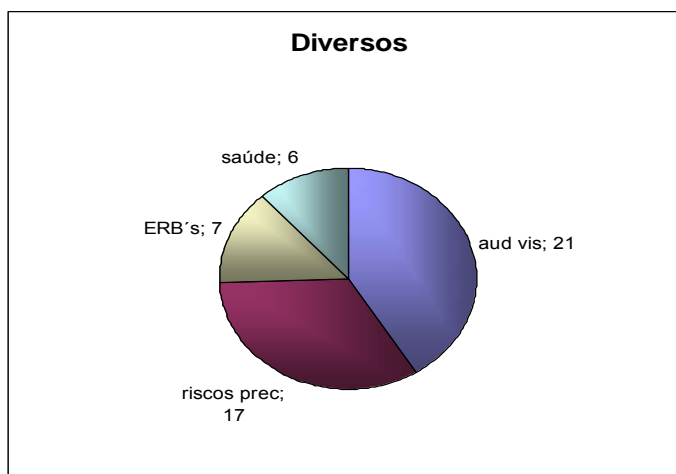


Figura 5.17 - Os 4 Efeitos Biológicos mais citados cadastrados no Módulo Diversos

Como exemplo de pesquisa cadastrada no banco de dados do módulo diversos, de efeitos biológicos, cita-se a publicação da *Electromagn Biol Med.* de 2006, sob o título “*Exclusion zones close to wireless communication transmitters aiming to reduce human health risks*”, onde os Drs. de Salles AA, Fernandez CR. (pesquisadores do *Electrical Engineering Department, Federal University of Rio Grande do Sul-UFRGS, Porto Alegre, Brazil.*) concluem que: “*Owing to the uncertainty in science regarding the minimum non ionizing radiation level below which no adverse health effects can occur, the Precautionary Approach is suggested and it is recommended that EMF human exposure be kept to a minimum*”.

Será apresentada a seguir, a revisão sistemática e a metanálise aplicadas no tratamento dos dados do banco de dados.

5.11 REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE

A revisão sistemática é uma técnica científica de análise de resultados de um grupo de publicações selecionadas criteriosamente sobre um mesmo tema específico. É quando o pesquisador realiza o levantamento dos resultados obtidos pelos estudos (publicações) de forma sistemática a permitir extrapolar os achados de estudos independentes, avaliar a consistência de cada um deles e explicar as possíveis inconsistências e conflitos.

O principal objetivo desse tipo de revisão é responder a uma pergunta específica claramente formulada, como por exemplo o *efeito do uso de telefone celular sobre o risco de*

tumor intracraniano, utilizando métodos sistemáticos e explícitos para identificar, para selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes e coletar e analisar dados de estudos incluídos na revisão. Conseqüentemente, os “sujeitos” da investigação (unidade de análise) são os estudos selecionados através de método sistemático e pré-definido (CLARKE, 2001 e MULROW, 1994).

No fim do processo de realização de uma revisão sistemática, o pesquisador obtém evidências sintetizadas sobre o fenômeno de interesse e a partir delas podem ser usados métodos estatísticos para analisar e sumarizar os resultados dos estudos incluídos. Tais métodos, denominados de meta-análise (ou metanálise), combinam os resultados de estudos realizados de forma independente e sintetizam as suas conclusões ou mesmo extraem uma nova conclusão (VIEIRA; HOSSNE, 2001 e ALFREDO, 2002).

5.11.1 Meta-análise

Uma meta-análise muda ou transcende o resultado de análises anteriores, sendo uma reflexão crítica sobre elas, isto é, uma análise de análises. A sua finalidade principal é generalizar os resultados de estudos quantitativos existentes na literatura sobre uma questão em particular, combinando-os estatisticamente (ALFREDO, 2002).

Toda meta-análise deve ser precedida de uma revisão sistemática, mesmo porque é a técnica apropriada de analisar quantitativamente, e de forma combinada, os artigos selecionados sistematicamente. Seu objetivo é extrair informação adicional de dados preexistentes através da união dos seus resultados e pela aplicação de uma ou mais técnicas estatísticas.

A revisão sistemática com a utilização da meta-análise é forma científica de buscar maior evidência do fenômeno de interesse através de resultados de estudos. Alguns estudiosos consideram que a realização de uma revisão sistemática pressupõe uma meta-análise, mas não uma obrigatoriedade.

As razões para realização das revisões sistemáticas da literatura e meta-análise são diversas:

- Sintetizar as informações sobre determinado tópico
- Integrar informações de forma crítica para auxiliar as decisões
- Ser um método científico reprodutível

- Determinar a generalização dos achados científicos
- Permitir avaliar as diferenças entre os estudos sobre o mesmo tópico
- Explicar as diferenças e contradições encontradas entre os estudos individuais
- Aumentar o poder estatístico para detectar possíveis diferenças entre os grupos com tratamentos diferentes
- Aumentar a precisão da estimativa dos dados, reduzindo o intervalo de confiança e
- Refletir melhor a realidade

Através da revisão sistemática e da meta-análise pode-se agrupar os estudos sobre uma questão específica e responder sobre o benefício ou não de uma intervenção, possibilitando que após a identificação dos erros e acertos realizados, um novo estudo possa ser planejado.

A análise combinada dos resultados de vários estudos com a utilização da estatística e a seleção criteriosa das publicações é o que distingue a meta-análise de uma revisão tradicional da literatura (MULROW, 1994 e ALFREDO, 2002).

5.11.2 Impossibilidade da aplicação da meta-análise no Banco de Dados

Nesta dissertação, o banco de dados das publicações foi desenvolvido objetivando absoluta aleatoriedade, de forma que não houvesse seleção de resultados tendenciosos de efeitos biológicos positivos, negativos e/ou não avaliados. Conseqüentemente, não poderia haver conformidade na metodologia das pesquisas e respectivos resultados (<www.leddis.disusp/ufsp>).

Considerando a falta de conformidade na metodologia das pesquisas (por exemplo, diferentes grupos de análise: *in vitro*, seres humanos e animais) e a diversidade dos agravos à saúde abordados (tumores, doenças neurodegenerativas, entre outros), concluí-se pela impossibilidade de realização de uma meta-análise, uma vez que optou-se por uma análise abrangente da questão. Para realizar a meta-análise, seria necessário delimitar um campo de análise mais específico (um escopo de publicações bem especificado) como, por exemplo, apenas artigos relativos o efeito da radiação do uso de telefone celular sobre o risco de tumor intracraniano.

Observa-se que o presente estudo demandaria a realização de uma revisão sistemática para cada um dos agravos e dado um estrato bem definido da população sob risco (VIEIRA; HOSSNE, 2001).

6 CONCLUSÕES

Esta dissertação tem como objetivo fazer uma análise comparativa dos *efeitos biológicos* causados por radiações não ionizantes, na faixa de telefonia celular, utilizando conceitos das áreas de engenharia elétrica e biologia (bioeletromagnetismo), a partir de pesquisas publicadas sobre o assunto em 42 países, nos últimos 10 anos.

As Comunicações Móveis Celulares marcaram profundamente o comportamento social no último século, e incorporaram-se de modo definitivo ao dia-a-dia de milhões de pessoas no mundo inteiro, que passaram a ficar imersas em ambientes cada vez mais servidos por radiações eletromagnéticas que podem, eventualmente, causar efeitos biológicos.

Os *efeitos biológicos* possíveis de serem causados por radiações não ionizantes, que não devem ser confundidos com *danos biológicos*, têm sido sistematicamente alvo de comentários na mídia, gerando preocupações na população em geral. Os efeitos biológicos são basicamente de dois tipos, *térmicos* e *não térmicos*.

Os *efeitos térmicos* são aqueles causados pelo aquecimento do organismo, que surgem diretamente do aquecimento dos tecidos, como resultados da absorção de parte da energia transportada pela onda eletromagnética incidente. Considerando apenas os efeitos térmicos, os níveis de radiação aos quais as pessoas podem ser submetidas são recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e seguidos pelo Brasil, conforme recomendação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Alguns países, entretanto, obedecendo ao princípio da precaução, fixam tais níveis de radiação abaixo daqueles recomendados pela OMS.

Os *efeitos não térmicos* não são provocados pelo calor, mas sim pela interação direta do campo eletromagnético com as moléculas que formam o tecido, quando suas partículas tentam se orientar com o campo elétrico de modo a minimizar sua energia potencial. A

interação dos campos eletromagnéticos com os sistemas biológicos pode resultar em alterações destes, gerando efeitos biológicos.

Os *efeitos biológicos* são respostas mensuráveis a um estímulo específico, como por exemplo a exposição do organismo, por longo período de tempo, às radiações não ionizantes das comunicações móveis celulares, que podem gerar mudanças por estressar o organismo, apesar de o corpo humano possuir seus mecanismos regulatórios.

O estudo dos mecanismos básicos da radiobiologia permite análises do que ocorre com a passagem da radiação e liberação de energia nas células ou em parte delas. A energia liberada pode produzir ionização e excitação dos átomos, quebra das moléculas e, conseqüentemente, a formação de íons e radicais livres altamente reativos. Estes, por sua vez, podem “atacar” moléculas de grande importância como a molécula de ADN (Ácido Desoxirribonucléico), causando-lhes danos (SALLES; FERNÁNDEZ, 2005 e FRIEDMAN, 2007).

Assim sendo, a radiação não é apenas fonte de energia inócua, podendo ser uma ameaça aos seres vivos, se não for adequadamente utilizada. A radiação é uma forma de energia que se propaga, sendo dividida em dois grandes grupos, a *radiação ionizante* e a *radiação não ionizante* (PAES, 2006).

A *radiação ionizante* é a que possui energia suficiente para “remover” elétrons de um átomo, podendo danificar células dos organismos e afetar o material genético, causando graves efeitos biológicos, como o câncer.

A *radiação não ionizante* é a radiação que não possui energia suficiente para “remover” elétrons de um átomo. Ela não altera o átomo, mas pode causar efeitos biológicos pela transformação de energia em calor, podendo quebrar moléculas e ligações químicas. Este tipo de radiação *pode causar efeitos biológicos não térmicos, como alterações na Barreira hematoencefálica*. (SALFORD; PERSSON, 2003). A radiação não ionizante provoca efeito acumulativo, isto é, em função do período de exposição e da reação própria de cada organismo, dentre outros fatores, haverá ou não efeito biológico, pois, nem todas as células vivas têm a mesma sensibilidade à radiação.

A Barreira hematoencefálica é uma barreira transportadora que tem a função de evitar a entrada de algumas substâncias no cérebro e promover a saída de outras substâncias. Esta barreira protege o cérebro de “substâncias estranhas” que possam estar presentes no sangue e danificá-lo, protegendo-o, também, contra hormônios que possam estar circulando pelo corpo, mantendo assim um ambiente químico protegido e constante para o bom funcionamento do cérebro.

A Barreira hematoencefálica pode ser “quebrada” por diversos agentes, dentre eles a exposição à radiação, na faixa microondas. Com a exposição à radiação, mesmo em níveis muito baixos de campos eletromagnéticos (SAR = 0,002 W/kg, durante 2 horas), pode ocorrer efeito não térmico de alterações na Barreira hematoencefálica, permitindo que substâncias químicas penetrem em neurônios no córtex, hipocampo e em gânglios basais do cérebro. (SALFORD; PERSSON, 2003)

As células, quando expostas à radiação, sofrem ação de *fenômenos físicos, químicos e biológicos*. Existe a tendência de se avaliar os efeitos da radiação em termos de efeitos sobre células, quando na verdade a radiação interage somente com os átomos presentes nas células.

Os *fenômenos físicos* principais são a ionização e a excitação dos átomos, que são responsáveis pelo compartilhamento da energia da radiação entre as células.

Os *fenômenos químicos* sucedem os físicos e podem provocar rupturas de ligações entre os átomos, formando radicais livres num intervalo de tempo pequeno.

Os *fenômenos biológicos*, que ocorrem em consequência dos fenômenos físicos e químicos, alteram as funções específicas das células e são responsáveis pela redução das atividades da substância viva do organismo. Como exemplos destes efeitos cita-se os cognitivos (tempo de percepção/reação) e alterações na pele. Estas alterações constituem algumas das primeiras reações do organismo à ação da radiação.

Para fins de acompanhamento científico, as pesquisas publicadas sobre os efeitos biológicos causados por radiação não ionizante, em 42 países, nos últimos 10 anos, por instituições de pesquisa mundialmente respeitadas e por renomados cientistas, foram cadastradas em um Banco de Dados construído pela autora. Cerca de 1000 publicações foram inicialmente analisadas, tendo sido selecionadas 397, priorizando os níveis QUALIS A e B (classificação feita pela CAPES)

A análise dos dados foi desenvolvida em duas etapas: a *primeira*, essencialmente exploratória, consistiu em uma análise descritiva dos dados através da elaboração de tabelas e gráficos. A *segunda* consistiu de uma inferência sobre os dados analisados: comparação dos percentuais dos resultados observados do efeito biológico e efeito térmico (sim, não e não avaliado) a partir do teste qui-quadrado, considerando 5% de nível significância ($p < 0,05$).

Em todas as fases da elaboração do banco de dados, foram observados critérios de absoluta imparcialidade, evitando-se resultados tendenciosos.

Observando a série histórica do número de publicações no período em estudo, isto é, nos últimos 10 anos, constatou-se uma tendência crescente de publicações no período 2000 a

2006. Neste último ano, foi registrada a maior quantidade de publicações (138), representando 35% do total do banco de dados.

A tabela 6.1 apresenta a quantidade de publicações registradas no banco de dados que concluíram pela existência de efeitos biológicos da radiação não ionizante.

Tabela 6.1 - Distribuição dos Resultados dos Efeitos Biológicos

	Efeitos			
	Somente Térmicos		Biológicos (Térmicos e/ou Não Térmicos)	
	N	%	N	%
Sim	83	21	238	60
Não	13	3	105	27
Não avaliado	301	76	54	13
Total	397	100	397	100

Legenda: N é o número de publicações

$$* \chi^2 = 578,3 ; p < 0,01$$

$$** \chi^2 = 138,7 ; p < 0,01$$

Na distribuição dos modelos biológicos constantes das 397 publicações científicas em análise, observou-se que 82% das pesquisas foram realizadas *in vivo* e 18% em ensaios *in vitro*.

Quanto aos *efeitos térmicos*, no universo das 397 publicações científicas analisadas, conforme mostra a figura 6.1:

- Em 76% das pesquisas o resultado é incerto (não avaliado);
- Em 21% das pesquisas os efeitos térmicos foram evidenciados;
- Em 3% das pesquisas os efeitos térmicos não foram evidenciados.

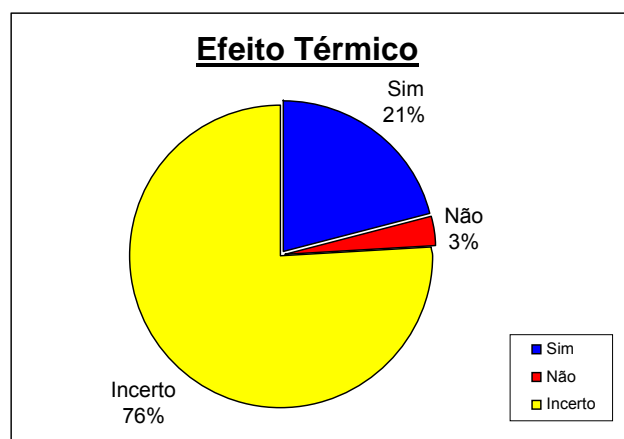


Figura 6.1 - Resultados da distribuição total dos Efeitos Térmicos

Estes dados mostram que dos 397 trabalhos publicados e analisados nesta dissertação, apenas 21% destes relacionou os efeitos biológicos observados com efeitos de natureza térmica das radiações não ionizantes na faixa da telefonia celular. Os dados mostram ainda que em 76% das pesquisas não ficou evidenciada a existência, ou não, do efeito térmico.

Quanto aos *efeitos biológicos (térmicos e/ou não térmicos)*, no universo das 397 publicações científicas analisadas, conforme mostra a figura 6.2:

- Em 60% das pesquisas foi evidenciado efeito biológico positivo;
- Em 27% das pesquisas não foi evidenciado efeito biológico;
- Em 13% das pesquisas, não se concluiu sobre a existência dos efeitos biológicos.

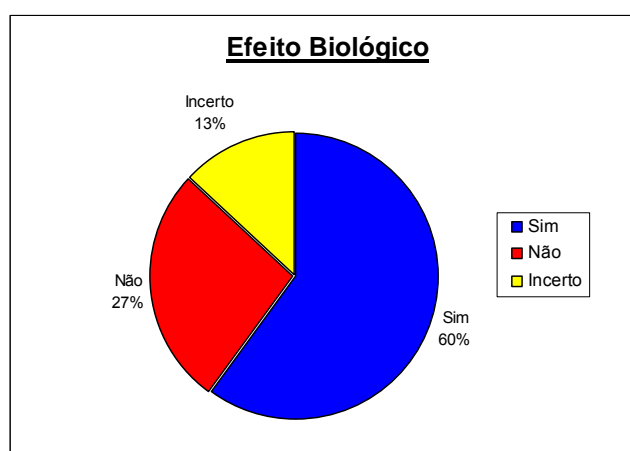


Figura 6.2 - Resultados da distribuição total dos Efeitos Biológicos

Estes dados mostram que dos 397 trabalhos publicados e analisados nesta dissertação, em 60% foram identificados efeitos biológicos de natureza térmica e/ou não térmica.

Em função das pesquisas realizadas e apresentadas nesta dissertação, ressaltando o “Princípio da Precaução”, alertamos para o fato de que indivíduos que utilizam o celular são mais propensos a sofrer efeitos biológicos causados pela radiação não ionizante. Neste sentido, esta dissertação desperta para a necessidade de discussão sobre a causalidade e magnitude dos Efeitos Biológicos provocados pela radiação, sejam eles térmicos ou não térmicos.

Este é um trabalho específico de sugestão para mensuração e conscientização dos riscos e avaliação de relações causais provenientes dos Efeitos Biológicos provocados pela radiação não ionizante na Faixa da Telefonia Celular.

6.1 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Visando dar continuidade aos estudos realizados nesta dissertação, sugere-se, para trabalhos futuros:

- A manutenção e atualização do banco de dados;
- O tratamento e a análise estatística para cada efeito biológico;
- A metanálise de cada efeito biológico;
- A análise dos efeitos biológicos ocupacionais (Segurança do Trabalho);
- A análise dos desenvolvimentos de EPI's (Equipamentos de proteção individual);
- A análise das NR's - Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, OIT - Organização Internacional do Trabalho ;
- O estudo dos Impactos Ambientais da Radiação Não Ionizante;
- O estudo dos efeitos biológicos em outras faixas de frequência (ex: 60 Hz).

7 REFERÊNCIAS

ALBERTS, Bruce. *Molecular Biology of the Cell*. Fourth Edition. 2002.

ALFREDO, Luiz. Meta-análise: definição, aplicações e sinergia com dados espaciais. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v19, n.3, p407-428, set/dez. 2002.

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução 303. 2 de Julho de 2002.

ASSIS, Mauro. *Curso Eletromagnetismo - Histórico Sistema Celular - UFF*, 2004.

BERG et al., 2002. *Biochemistry*. Berg, JEREMY M.; TYMOCZKO, John L.; STRYER, Lubert. New York: W. H. Freeman and Co, c2002.

BUSSAB, Wilton de O; MORETTIN, Pedro A. *Estatística Básica*. 5. ed. São Paulo: Saraiva. 2004.

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior Ministério da Educação. Disponível em: <www.capes.gov.br>. Acesso em: 02 out, às 09:15h.

CHO, S. H. et al. *Interoperability between UMTS and cdma2000 Networks*. IEEE Wireless Commun, vol. 10, no. 1, Fevereiro 2003. p. 29-35.

CINTO, Antonio Fernando; GÓES, Wilson Moraes. *Excel Avançado*. Ed. Novatec - Banco de Dados, 2005.

CLARKE M, OXMAN AD. editors. Cochrane Reviewers' Handbook 4.1, updated June 2000. In: *Review Manager (RevMan)*. Computer program. Version 4.1. Oxford, England: The Cochrane Collaboration, 2001.

CURSO ON-LINE de revisão sistemática e metanálise. Iniciativa do Laboratório de Educação a Distância - LED-DIS do Departamento de Informática em Saúde da Universidade Federal de São Paulo/Escola Paulista de Medicina. Disponível em: <www.leddis.disusp/ufsp>. Acesso em: 06 set às 14:48h.

DURÇO, Yuri Silva; SILVA, Aline de Oliveira Pinto. *Sistemas UMTS* (Universal Mobile Telecommunications System). Departamento de Engenharia de Telecomunicações – UFF. Fevereiro de 2007.

ELBEM, Alwin. *Curso de Enga. Segurança do trabalho Radiação Não Ionizantes*. Disponível em: <www.prorad.com.br/pro/rni.pdf>. Acesso em: 01 out 2007.

FISIOLOGIASTARMEDIA. <<http://orbita.starmedia.com/fisiologiapontocom>>. Acesso em: 04 set 2007 às 14:15h.

FRIEDMAN, J. *Mechanism of short-term activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies*. *Biochem J.* 2007 Aug 1;405(3): e 5-6. Department of Biological Regulation. The Weizmann Institute of Science. Rehovot 76100, Israel.

_____. *Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies*. *New Scientist*. 08 de Set 2007.

HARDELL, Lennart et al. Use of Cellular Phones and the Risk of Brain Tumors: a case control study. *Int. Journ. of Oncology*, v15, pp.113-116, 1999.

HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. *WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. Third Edition, 2004.

ICNIRP - *International Commission on Nonionizing Radiation Protection Guidelines*, Health Physics. Vol. 74, No. 4, April, 1998 pg. 507.

JOACHIN, Hans. *UMTS v WCDMA* DREBLER. Apostila – Universidade de Ulm – Alemanha, 2006. 96p.

JORMA, Ollila. Principal executivo da Nokia Oyj, *Gazeta Mercantil*. 5/3/2004, pág. A-15.

MONTGOMERY, Douglas C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2003.

MULROW CD. *Rationale for systematic reviews*. *BMJ* 1994; 309:597-599.

MUSETTI, Rodrigo Andreotti. *Telefonia Celular: Aspectos Jurídico. Ambientais* CMI Brasil Centro de mídia independente Aspectos Jurídico - Ambientais. 2004.

PAES, Walter Siqueira. *Curso e Radioproteção, com ênfase no uso, preparo e manuseio de fontes radioativas*. 2006.

PRATT, Charlotte W.; VOET, Donald; VOET, Judith G. *Fundamentos de Bioquímica*. Artmed Editora. 2000.

REPORT UIT - Draft New Report UIT - R M. [IMT. Trends], Working Party 8F, Outubro, 2003. Disponível em: <<http://www.itu.int/UIT-R/study-groups/rsg8/rwp8f/index.asp>>. Acesso em: 03 nov às 19:25h.

SALFORD, Leif. Neurocirurgião da Universidade de Lund, na Suécia, Sunday Times, Londres, UK 17/3/2003.

SALFORD, L.; PERSSON, B. *Environmental Health Perspectives*. Universidade de Lund na Suécia, NIEHS - National Institute of Environmental Health Sciences. April, 2003. Doi:10.128/ehp.6039 e Microwave News, vXXIII, n1, Jan/Feb. 2003, p.1. Disponível em: <www.ehponline.org>.

SALLES, Alvaro Augusto A. de; FERNÁNDEZ, Claudio R. *O Impacto das Radiações Não Ionizantes da Telefonia Móvel e o Princípio da Prevenção*. Palestra apresentada no Seminário sobre Estações de Rádio Base no Ministério Público do Estado de S. Catarina em 2/9/2005.

SAS Institute Inc. *SAS Language: Reference*. Version 6, First Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc. 1990.

SCHABERLE, Fábio Antonio; SILVA, Nelson Canzian da. *Introdução à Física da Radioterapia*. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemática. Departamento de Física. 2000.

SOUZA, Christiano Freitas; Dal BELLO, Júlio. *Visão Geral dos Sistemas Celulares de Quarta Geração*, 2007.

TAMURA, T. et al. *IMT - 2000 Core Network Node Systems*. IEEE Wireless Commun. Vol.10, no.1, Fevereiro, 2003.

UDESC-GEB. Disponível em: <www.Joinville.Udesc.Br/~geb/bioeletro.Htm>. Acesso em: 28 set 2007 às 13:18h.

UFSC. *Funções das Proteínas*. Disponível em: <http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2003/const_microorg/proteinas.htm>.

VALE, Eduardo Rodrigues. *Sistemas Móveis de Terceira Geração/UMTS - HSPA/Sumário Executivo*. 28/09/2007.

VIEIRA, Sonia; HOSSNE Willian. *Metodologia científica para a área de saúde*. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2001.

WHO - World Health Organization. Disponível em: <<http://www.who.int/peh-emf>>. Acesso em: 01NOV, às 17:23h.

WIRELESS COMMUNICATIONS: Principles and Practice, 2nd Edition. Published: DEC 31, 2001. 736 pp.

ZAHARIADIS, T. B. *Migration Toward 4G Wireless Communications*. Guest Editorial, IEEE Wireless Commun, vol.11, no.3, Junho 2004, p 6-7.

3GPP - Generation Partnership Project (produces WCDMA standard). Disponível em: <<http://www.3gpp.Org>>. Acesso em: Outubro às 8:03h.

<www.biossegurancahospitalar.com.br/rx/introducao_historico_e_aplicacao_ridoc.pdf>. Acesso em: 08 ago 2007 às 09:22h.

<www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX_ProgressSummary>. Acesso em: 24 de julho de 2007 às 17:30h.

<www.scq.ubc.ca/wp-content/dna.gif>. Acesso em: 10 de dezembro de 2007 às 15:57h.

ANEXO I

Lista dos Efeitos Biológicos cadastrados no Banco de Dados

Aberrações Cromossômicas
Ataques Epiléticos = EPILEPSIA
Alteração Expressão Genética
Alterações DNA
DNA
Alterações Neurofisiológicas
Astrócitos
Alterações Neurais
Alzheimer's
Atividades Neurais
Audição
Células Cerebrais
Cognitivo
Córtex
Efeitos Neurológicos
Eletroencefalograma
Epilepsia
Ganglio Basal
Glândulas Pineal
Hipocampo
Neurônios
Rede Neural
Sistema Nervoso Central
Astrocioma
Tumor
Câncer
Glioblastoma
Gliomas
Leucemia
Meningiomas
Neuroblastoma
Neuroma Acústico
Absorção
Alterações Histopatológicas
Alterações Moleculares
Alterações Temperatura
Alterações Pele
Atividades Eletrodérmicas?
Atividades Enzimáticas
Apoptose
Aquecimento
Barreira Hemato Encefálica
Cabeças
Célula Endotelial
Células Epidérmicas
Células Humanas
Células Imunológicas
Célula MCF-7
Controle Nível Celular

Densidade Óssea
Disfunção
Dismutasia
Dor de Cabeça
Dosimetria
Drosophila Melanogaster
Efeitos Biológicos em geral
Efeito por Módulo de antena
Eletrocardiograma
Embriões de galinhas
Epidemiológicos
ERB (Estação Rádio Base)
Estresse
Estresse Biológico
Estresse Celular
Estresse Oxidativo
Expressão Genética
Exposição por sexo
Fluxo Sanguíneo Cutâneo
Fosforilação
Funções Fisiológicas
Glândula
Glândula Parótida
Heat Shock Protein-HSP
Heat Shock Factor
Hipotireoidismo
HSP 27
HSP 70
Implantes
Infantil
Infecção Bacteriana
Interferência Equip.Médicos
Legislação Nacional
Linfócitos Humanos
Marcapassos
Maturação
Medidas cálculo Tolerância
Melatonina
Metabolismo
Microcélulas e Picocélulas
Modelos de Cabeça
Mortalidade Celular
Motoristas
P38 MAPK
Parâmetros Fisiológicos
Permeabilidade Vascular
Peroxidase
Pressão Sanguínea
Princípio da Precaução
Proliferação Celular
Proteína P 53
Proteomics
Quebra no DNA
Queda de cabelo
Resistência da pele

Respiração
Riscos
SAR
Saúde Pública
Segurança
Sêmen humano
Sistemas Biológicos
Sistema Imunológico
Superexposição
Variações histológicas

ANEXO II

A.II- EFFECT OF GSM MOBILE PHONE RADIATION ON BLOOD-BRAIN BARRIER

“Dariusz Leszczynski

Bio-NIR Research Group, Radiobiology Laboratory, STUK-Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland; dariusz.leszczynski@stuk.fi”

ABSTRACT

Some animal studies have suggested that mobile phone radiation may cause increase in blood-brain barrier permeability.

We have hypothesized (Leszczynski et al. Differentiation, 70, 2002, in press) that the mobile phone radiation-induced increased expression and phosphorylation (activity) of stress protein hsp27 might be the molecular mechanism regulating blood-brain barrier permeability and, possibly, cell apoptosis.

Here we present evidence suggesting that mobile phone radiation indeed affects hsp27-dependent cytoplasmic distribution of F-actin and stability of stress fibers.

This observation supports our hypothesis that mobile phone radiation-induced changes in hsp27 expression/activity might eventually lead to increase in the permeability of blood-brain barrier.

BACKGROUND

The question whether microwave radiation, that is emitted by mobile phones (radio-frequency modulated electromagnetic fields: RF-EMF), might exert any detrimental health effects remains unanswered. Several recently conducted reviews of the to-date published research have concluded that there is significant and credible scientific evidence to the fact that RF-EMF induces biological effects [1,2,3,4]. However, it still remains to be determined whether these biological responses could cause health hazard.

The possibility of the induction of cellular stress response by the non-thermal levels of mobile phone radiation has been shown just recently.

In vivo, Daniells et al. [5] and de Pomerai et al. [6] have shown that overnight irradiation of nematode worms with RF-EMF (750MHz) at SAR of 0.001W/kg causes increase in expression of heat shock protein.

Fritze et al. [7], using rat model, have shown increase in expression of stress protein hsp70 in brains of animals exposed for 4 hours to RF-EMF (890-915MHz) at SAR of 1.5W/kg. In vitro, Kwee et al. [8] have shown induction of stress protein hsp70, but not hsp27, in transformed human epithelial amnion cells exposed for 20 min. to RF-EMF (960MHz) at SAR of 0.0021W/kg.

Thus, because of the known broad spectrum of physiological processes that are regulated by stress proteins [9], it is possible to suggest that mobile phone radiation-induced activation of cellular stress response might affect variety of physiological processes, among them brain tumor development and blood-brain barrier permeability.

Having this in mind, French et al. [10] have put forward hypothesis suggesting that repeated exposures of cells to mobile phone radiation over a long period of time might affect tumor development due to the hypothesized chronic up-regulation of the expression levels of cellular stress proteins. However, occurrence of such chronic stimulatory effect on the expression of stress proteins induced by mobile phone radiation, as suggested by French et al. [10], still remains to be experimentally demonstrated.

PREVIOUS STUDY

In our earlier study [11] we have demonstrated that the 1-hour non-thermal exposure of human endothelial cell line EA.hy926 to SAR of 2W/kg (900MHz GSM signal) leads, among others, to: (i) changes in phosphorylation status of a large number of proteins, (ii) among them, transient increase in phosphorylation of hsp27 stress response protein, which was prevented by SB203580, a specific inhibitor of p38 mitogen activated protein kinase (p38MAPK), (iii) transient changes in protein expression levels of hsp27 and p38MAPK.

Over-expression and phosphorylation of hsp27 has been shown to regulate polymerization of F-actin and formation and stability of stress fibers. This, when occurring in endothelial cells lining brain's capillary blood vessels, might be of importance for the functioning of blood-brain barrier. Stabilization of stress fibers and cytoplasmic distribution of F-actin was shown to cause:

(i) cell shrinkage, that might lead to opening of spaces between cells, (ii) increase in the permeability and pinocytosis of endothelial monolayer, (iii) increase in formation of the so called "apoptosis-unrelated" blebs on the surface of endothelial cells, which eventually might obstruct blood flow through capillary blood vessels, (iv) stronger responsiveness of endothelial cells to estrogen and, when stimulated by this hormone, to secrete larger than normally amounts of basic fibroblast growth factor (bFGF) which might, in endocrine manner, stimulate dedifferentiation and proliferation of endothelial cells and possibly led to the associated with cell's proliferative state – cell shrinkage and unvelving of basal membrane.

The possibility of the effect of RF-EMF exposure on blood-brain barrier permeability has been suggested earlier by in vivo [12] and in vitro [13] studies. However, there are also reports where authors claim that the non-thermal levels of RF-EMF radiation do not affect blood-brain barrier permeability [14, 15].

The no-effect, which is claimed by Fritze et al. [14], is not so straight forward. The authors have observed stress response and increased permeability of the bloodbrain barrier immediately after the end of irradiation. This effect was, however short lasting. Therefore, it remains unclear what would be the blood-brain barrier response to the repeated exposures to mobile phone radiation because the effect of repeated exposures was not examined.

The increased blood-brain barrier permeability due to increase of pinocytosis was suggested by Neubauer et al. [16] who have demonstrated increase in pinocytosis of cerebral cortex capillaries that were exposed to 2.45 GHz microwave radiation. Finally, the recently reported study by Töre et al. [17] has shown that 2 hour exposure of rats to RF-EMF (900MHz) at SAR of 2W/kg (averaged over the brain) causes increase in the permeability of blood-brain barrier. The molecular mechanism and the cellular signaling pathways involved in the induction of blood-brain barrier permeability are still unknown.

Activated (phosphorylated) hsp27 has been shown to inhibit apoptosis by forming complex with the apoptosome (complex of Apaf-1 protein, pro-caspase-9 and cytochrome c), or some of its components, and preventing proteolytic activation of pro-caspase-9 into active form of caspase-9 [18, 19]. This, in turn, prevents activation of pro-caspase-3 which is activated by caspase-9. Thus, induction of the increased expression and phosphorylation of hsp27 by the RFEMF exposure might lead to inhibition of the apoptotic pathway that involves apoptosome and caspase-3. This event, when occurring in RF-EMF exposed brain cells that underwent either spontaneous or external factor-induced transformation/damage, could support survival of the transformed/damaged cells.

HYPOTHESIS

Based on the known cellular role of over-expressed/phosphorylated hsp27 we have proposed a hypothesis [11] that: the activation (phosphorylation) of hsp27 by mobile phone radiation might be the molecular mechanism (i) regulating increase in blood-brain barrier permeability, which would explain, observed in some animal experiments, increase in blood-brain barrier permeability, and (ii) regulating apoptosis through interference with the cytochrome c/caspase-9/caspase-3 pathway (Figure 1).

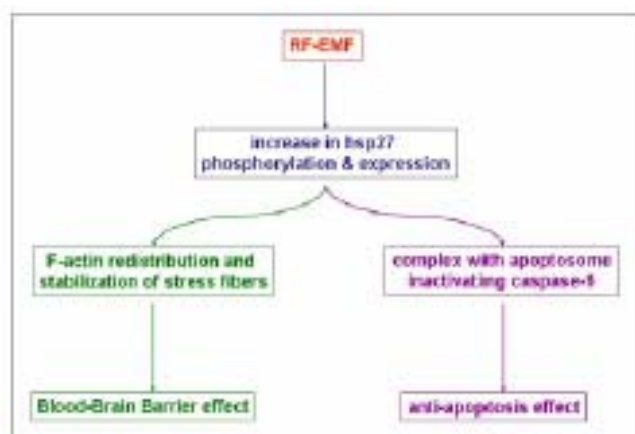


Fig. 1 Hypothetical flow of events that might occur in cells in response to mobile phone radiation.

OBJECTIVE

The present study was undertaken to determine whether physiological responses of endothelial cells, which are associated with the hsp27 expression and phosphorylation and might affect permeability of blood-brain barrier (stability of stress fibers, cell size/shape), occur in the mobile phone radiation exposed cultures of human endothelial cell line EA.hy926.

MATERIAL AND METHODS

Human endothelial cell line EA.hy926 cells, grown on microscope cover slides, were exposed for 1h to 900MHz GSM signal at an average SAR of 2W/kg (range 1.8 – 2.5 W/kg). Temperature of cell cultures remained throughout irradiation period at 37±0.30C thus the effects reported here are of non-thermal nature. Cells on cover slides were fixed either immediately or 1h after the end of irradiation.

The expression of hsp27 was determined by indirect immunohistochemistry in order to confirm that the cells respond to irradiation in the same way as in the previous study [11]. The appearance of cells (size, shape) and cytoplasmic pattern of F-actin distribution (stabilization of stress fibers) was determined by staining of the cells with fluorescent-dye (AlexaFluor) labeled phalloidin.

RESULTS AND DISCUSSION

As expected, 1h exposure of cells to mobile phone radiation increased expression of hsp27. However, in order to increase hsp27 expression by heat shock was required 3h incubation of cells at 430C (1h exposure had no effect). This observation, together with the measurements showing that temperature of

medium was throughout RF-EMF exposure period at $37 \pm 0.30^\circ\text{C}$, suggest that the observed here effects are of non-thermal nature.

The stability of stress fibers, as determined by the pattern of staining with phalloidin-AlexaFluor, increased after 1h irradiation and did not decline during the 1h of post-irradiation incubation. **Induction of the stability of stress fibers caused cells to shrink. In cells expressing high levels of hsp27, the cell edges were brightly stained with phalloidin-AlexaFluor, what indicates re-localization of F-actin to cell ruffles. These cells rounded-up and cells contacted inbetween only through thin pseudopods. In cells expressing lower levels of hsp27, network of stress fibers was seen throughout the cytoplasm but not in the ruffles.**

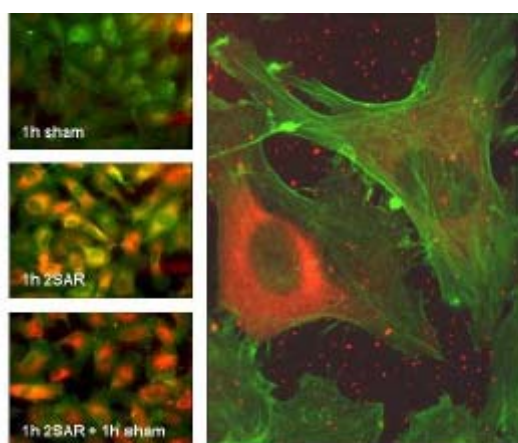


Fig. 2. Expression pattern of F-actin in EA.hy926 cells detected using phalloidin-AlexaFluor staining (green fluorescence) and hsp27 using indirect immunofluorescence (red color). Left panel: cells exposed for 1h to sham, cells exposed for 1h at 2W/kg (2SAR), and cells exposed for 1h at 2W/kg followed by 1h exposure to sham. Right panel: cell expressing high level of hsp27 has F-actin in cell ruffles whereas cell expressing low level of hsp27 has F-actin in form of stress fibers distributed throughout cytoplasm (notice difference in stress fiber density over the nuclear region in both cells).

The observed here, hsp27-related changes in cytoplasmic distribution of F-actin are apparently outcome of two phenomena: hsp27 over-expression and hsp27 phosphorylation. These observed changes support the hypothesis that the hsp27/p38MAPK stress signaling pathway might be the molecular mechanism regulating mobile phone radiation-induced permeability of blood-brain barrier.

CONCLUSIONS

The proposed above intra-cellular mechanism for the mobile phone radiation-increased permeability of the blood-brain barrier is a hypothesis but as such it is reasonably supported by the evidence concerning both effects of microwaves on stress response and effects of hsp27 (increased expression and activity) on cell physiology. Furthermore, it appears that the physiological changes caused by hsp27 phosphorylation indeed take place in endothelial cells (stress fibers' expression, cell size/shape changes). These events, when occurring repeatedly (on daily basis) over the long period of time (years) might become health hazard because of the possible accumulation of brain tissue damage.