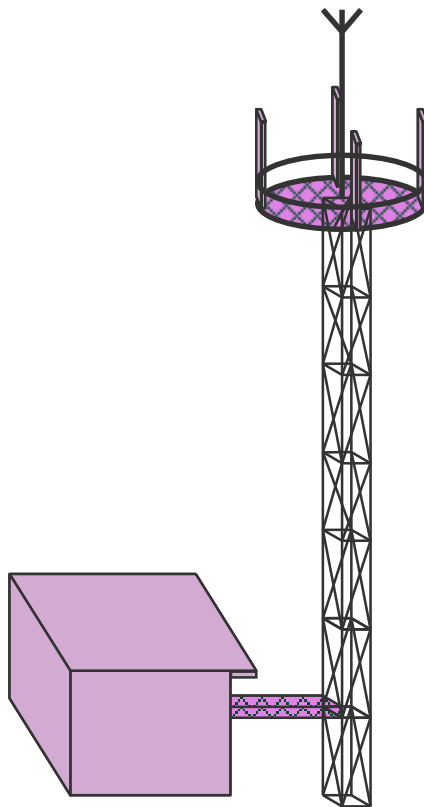


RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS
NÃO IONIZANTES
EMITIDAS PELAS ANTENAS FIXAS
DE TELEFONIA CELULAR



Contrato:
CTBC CELULAR, MAXITEL, TELEMIG CELULAR
e FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI DA
ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG

Prof. José Osvaldo Saldanha Paulino
Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG

Maio de 2001

Sumário

- I - Apresentação
- II - Introdução
- 1 – Histórico
- 2 - O que são ondas de rádio?
- 3 – O que é frequência?
- 4 - O que é a telefonia celular?
- 5 – Como são projetadas as antenas?
- 6 – O ambiente eletromagnético da Terra
- 7 – Como são feitas as pesquisas sobre os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos?
- 8 – Quem faz as Normas e Recomendações Técnicas?
- 9 – Radiações ionizantes e não ionizantes – o espectro de frequências
- 10 - Unidades de medida
- 11 – Taxa de absorção específica (SAR)
- 12 – Efeitos biológicos – efeitos térmicos e efeitos não térmicos
- 13 – Cálculo e medição da intensidade da radiação eletromagnética
- 14 – Existe diferença entre a radiação emitida pelos aparelhos individuais e as ERB's?
- 15 – A situação atual – Medições realizadas em Minas Gerais e em outros países
- 16 – Quais são os valores de campo criados por outros aparelhos?
- 17 – As ERB's interferem em outros equipamentos?
- 18 – Conclusões
- 19 - Referências Bibliográficas
- 20 - Sobre o autor

I - Apresentação

Os efeitos dos campos eletromagnéticos sobre a saúde humana são objeto de vários estudos e pesquisas ao redor do mundo. Muita polêmica têm sido levantada sobre o assunto e a mídia tem explorado o tema amplamente. Alguns professores do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais tem trabalhado sobre o assunto, notadamente, na área de medição dos valores de campos presentes em ambientes residenciais e industriais. Duas frentes de trabalho se destacam: os campos elétrico e magnético gerados pelas redes elétricas de frequência industrial e as ondas eletromagnéticas geradas pelos sistemas de telefonia celular.

Este documento é um dos frutos do contrato firmado entre as empresas CTBC CELULAR, MAXITEL, TELEMIG CELULAR e a Fundação Christiano Ottoni da Escola de Engenharia da UFMG.

Tendo como público alvo engenheiros, médicos, advogados, legisladores, técnicos e estudantes, este trabalho foi redigido numa linguagem simples e direta, tentando explicar fenômenos complexos com palavras simples.

II - Introdução

De modo a tornar a leitura mais fácil e agradável, o texto foi redigido de forma direta sem a apresentação das referências bibliográficas ao longo do mesmo.

A bibliografia na qual o texto foi baseado é composta dos seguintes documentos:

John E. Moulder, PhD. Professor of Radiation Oncology. Medical College of Winsconsin. *Cellular Phone Antennas (Base Stations) and Human Health*. <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>

ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, 1998.

ANSI/IEEE C95.1-1991, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*, Institute of Electrical and Electronic Engineers, USA, 1992.

Dissertação de mestrado de Luciana Andrade e Guerra. Orientada por José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Medição dos Campos Elétrico e Magnético de Baixa Frequência – 5 Hz a 30 kHz – Visando Segurança Pessoal*. Defendida em 21 de dezembro de 1998.

Dissertação de mestrado de Vilcker Germano Martins. Orientada por José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Medição de campos eletromagnéticos de alta frequência (100 kHz a 3 GHz) gerados por equipamentos eletro-eletrônicos visando segurança pessoal*. Defendida em 25 de fevereiro de 2000.

Uma lista de referências bibliográficas esta colocada no final para auxiliar aqueles que desejarem informações mais detalhadas.

1 – Histórico

A existência das ondas eletromagnéticas foi proposta em 1864 pelo pesquisador inglês James C. Maxwell. A possibilidade de se transmitir energia ou informações entre pontos distantes utilizando ondas eletromagnéticas livres no espaço foi proposta em 1887 pelo pesquisador alemão Heinrich R. Hertz e o italiano Guglielmo Marconi fez em 1895 a primeira transmissão de voz criando o que ficou conhecido como transmissão via rádio (no Brasil o padre Roberto Landell de Moura fez a primeira transmissão em 1892. Esta transmissão é anterior a feita por Marconi, mas quem ficou conhecido como criador do rádio foi o físico italiano).

A partir destas descobertas a utilização das ondas de rádio como meio de comunicação cresceu vertiginosamente originando as estações de rádio AM, rádio FM, televisão e sistemas de comunicação civis e militares.

No início da década de 80, com a compactação dos circuitos eletrônicos e com o desenvolvimento de baterias de pequeno porte e grande capacidade de carga, começaram a operar os primeiros serviços públicos de telefonia celular móvel.

Nos Estados Unidos os primeiros sistemas de telefonia celular utilizando tecnologia analógica começaram a operar em Chicago em 1983. Os primeiros sistemas digitais começam a operar em 1991.

No Japão, em 1979 a NTT (*Nippon Telephone and Telegraph Company*) começou a operar o primeiro sistema de telefonia celular móvel. Na Europa os primeiros sistemas começam a operar em 1985.

Hoje são mais de 600 milhões de usuários em todo o mundo e só no Brasil são cerca de 24 milhões.

2 - O que são ondas de rádio?

São ondas eletromagnéticas originadas em cargas elétricas aceleradas (correntes elétricas alternadas; fontes de luz; antenas; explosões solares; etc.).

As ondas eletromagnéticas são ondas constituídas de campos elétricos e magnéticos e que usualmente são geradas em circuitos especiais chamados de osciladores.

Mesmo quando não projetados para este fim, todo equipamento elétrico ou eletrônico, que funciona com corrente elétrica alternada, pode gerar ondas eletromagnéticas. Os campos ou ondas eletromagnéticas são também conhecidos como ondas de rádio ou, ainda, radiações eletromagnéticas.

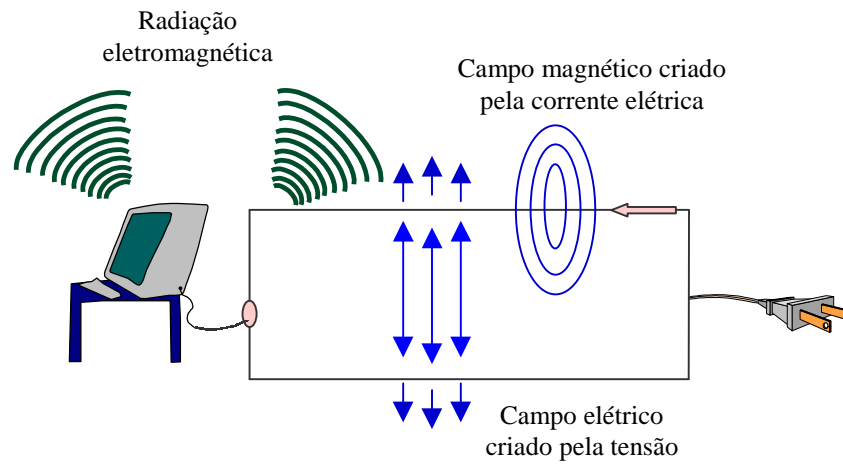


Figura 1 – Campos e ondas eletromagnéticas gerados por equipamentos eletro/eletrônicos.

Os campos eletromagnéticos criados pela corrente elétrica alternada podem ficar confinados ou podem ser liberados no espaço. As linhas de transmissão de energia elétrica mantêm os campos confinados (presos) a uma pequena região em volta dos fios e apenas uma parcela muito pequena é irradiada. Quando se quer utilizar a energia elétrica para se estabelecer um canal de comunicação entre dois pontos, e não se deseja usar cabos ou fios, a energia tem de ser espalhada no espaço (ar) e o equipamento que faz isto é chamado de antena.

A luz é um onda eletromagnética e o sol funciona como uma grande antena emissora, lançando grandes quantidades de energia no espaço e a terra funciona com uma antena receptora, captando parte da energia irradiada pelo sol.

3 – O que é frequência ?

A frequência de uma corrente alternada significa o número de vezes que a corrente elétrica no circuito (fio) muda de sentido em cada segundo.

Em um circuito de corrente contínua (bateria) a frequência é zero, ou seja, a corrente não muda de sentido.

As correntes das redes elétricas tem, no Brasil, uma frequência de 60 Hertz (60 Hz). A unidade para a medida de frequência é o Hertz em homenagem ao cientista que “descobriu” as ondas de rádio.

Um Hertz (1 Hz) significa uma mudança de sentido da corrente em cada segundo. Num sistema de 60 Hz a corrente muda de sentido 60 vezes por segundo.

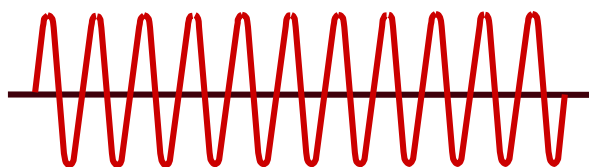


Figura 2 – Representação gráfica da frequência.

Para frequências mais elevadas são utilizadas as seguintes unidades:

kHz - quilohertz - 1000 Hz
500 kHz = 500.000 Hz

MHz - megahertz - 1.000.000 Hz
100 MHz = 100.000.000 Hz

GHz – gigahertz - 1.000.000.000 Hz
2 GHz = 2.000.000.000 Hz

Uma outra forma de caracterizar a variação do sentido da corrente é o comprimento de onda. O comprimento de onda de uma corrente ou campo eletromagnético é calculado pela seguinte fórmula:

$$\lambda = V_0/f;$$

λ \Rightarrow Comprimento de onda (metros);

$V_0 \Rightarrow$ velocidade da luz no vácuo (300.000.000 m/s);

$f \Rightarrow$ frequência em Hertz;

4 – O que é a telefonia celular?

A telefonia celular é uma tecnologia que utiliza rádios transmissores e receptores operando na faixa de microondas.

Cada aparelho de telefone celular é ao mesmo tempo um rádio transmissor e receptor que comunica com as ERB's (Estações Rádio Base), elementos do sistema celular responsáveis por prover comunicação, constituídos também de rádios receptores e transmissores.

As ondas de rádio são utilizadas simultaneamente por vários sistemas de modo que as agências regulamentadoras, no caso do Brasil a ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações, estabelecem quais são as faixas de frequência que cada aplicação poderá utilizar.

O aparelho celular se comunica via onda eletromagnética, com as antenas que estão nos topos das torres (ERB's). Estas ERB's fazem a intercomunicação com a Central de Comutação e Controle (CCC). A CCC interliga o usuário com as demais operadoras, celulares e fixas, e a ligação é completada.

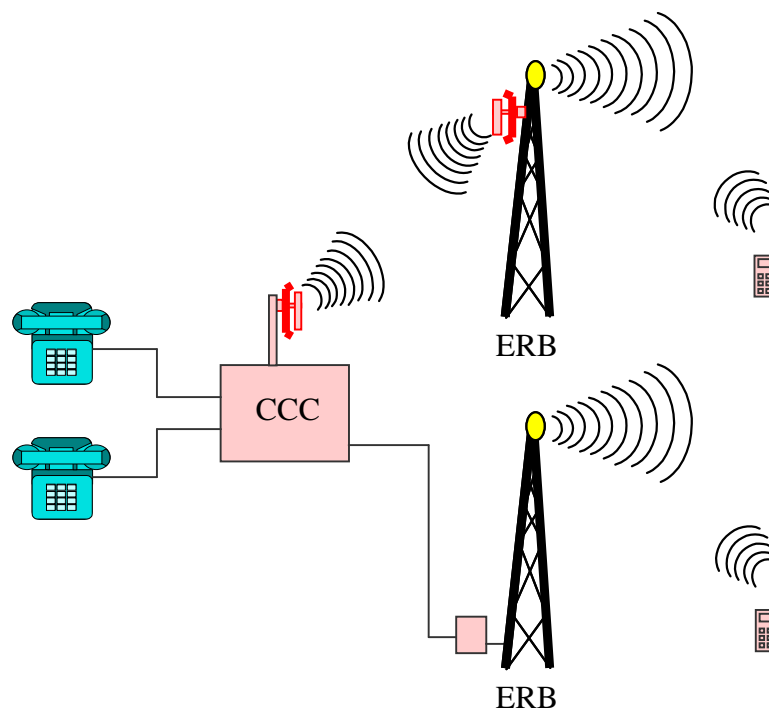


Figura 3 – Esquema de funcionamento do sistema de telefonia celular.

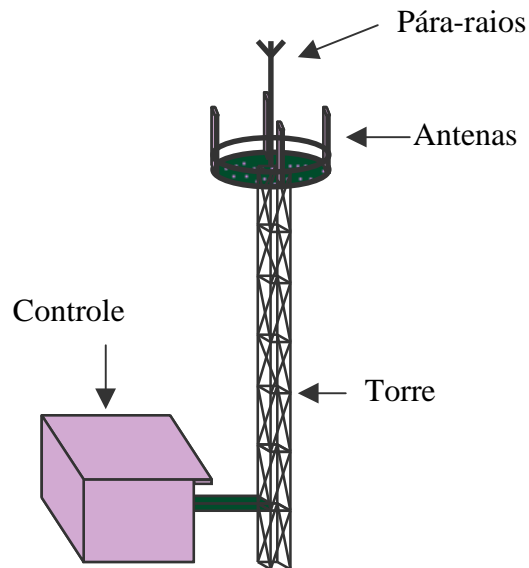


Figura 4 – ERB – Estação Rádio Base.

A única forma de prestar o serviço celular em cidades de grande porte é através da instalação de antenas de baixa potência distribuídas em diversos locais da cidade, onde se encontram as pessoas que vão utilizar o serviço. Esta técnica é utilizada em todas as cidades do mundo, seja nos Estados Unidos, Europa e Ásia. Pode se usar torres treliçadas, postes ou edifícios existentes para suportar as antenas bem no alto.

O princípio básico de funcionamento da telefonia celular é o compartilhamento de frequências (canais). Ou seja, uma mesma faixa de frequências (canal) pode ser utilizada várias vezes (por vários usuários) ao mesmo tempo.

Um usuário perto de uma antena está utilizando um determinado canal e outro usuário perto de outra antena pode utilizar, simultaneamente, o mesmo canal. Isto é possível porque a potência de cada antena é muito baixa e uma antena não interfere na outra.

Para disponibilizar o serviço a todos os usuários que tenham interesse, sem perder a qualidade de serviço, tem-se que aumentar o número de antenas e diminuir a potência de cada uma.

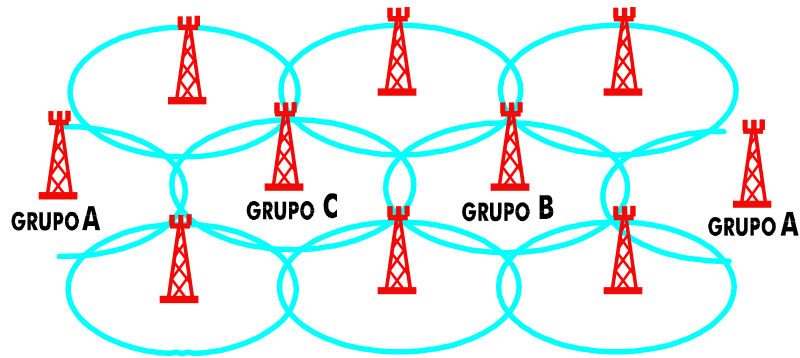


Figura 5 – Aumentando-se o número de células a potência de cada antena diminui.

5 – Como são projetadas as antenas?

Para que uma antena seja eficiente o seu tamanho (comprimento) tem de ser aproximadamente igual ao comprimento de onda da corrente que circula na mesma.

Os comprimentos das antenas eficientes geralmente são:

$$L = \lambda/2 \text{ ou } L = \lambda/4.$$

Onde L é o comprimento da antena e λ é o comprimento de onda.

Para se projetar uma boa antena operando com uma corrente de frequência igual a 60 Hz (frequência da rede elétrica) o seu tamanho deveria ser:

$$f = 60 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = 300.000.000/60 = 5.000 \text{ km};$$

$$L = \lambda/4 \text{ ou } L = 5.000/4 = 1.250 \text{ km !}$$

A antena deveria ter um comprimento de 1.250 quilômetros!

Uma antena deste tamanho é inviável. Por isso os sistemas de rádio utilizam frequências muito elevadas. Quanto maior a frequência, menor será o comprimento de onda e menor será o tamanho da antena.

As rádio AM (amplitude modulada) trabalham com frequências da ordem de 900 kHz (900 quilohertz - 900.000 Hz). Para esta frequência o comprimento de onda é:

$$f = 900 \text{ kHz} \Rightarrow \lambda = 300.000.000/900.000 = 333 \text{ m};$$

$$L = \lambda/4 \text{ ou } L = 333/4 = 83 \text{ metros.}$$

Uma antena de rádio AM teria então um comprimento de 83 metros. As antenas de rádio AM são bem grandes. Geralmente utiliza-se como antena uma torre metálica. A própria torre é a antena. Devido ao grande tamanho e também devido à elevada potência das rádio AM as antenas são instaladas em locais afastados.

As rádios FM e os canais de televisão operam com frequências da ordem de 100 MHz (100 megahertz = 100.000.000 Hz). Para esta frequência o comprimento de onda é:

$$f = 100 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda = 300.000.000/100.000.000 = 3 \text{ metros};$$

$$L = \lambda/4 \text{ ou } L = 3/4 = 0,75 \text{ metros} = 75 \text{ centímetros.}$$

As antenas de FM são bem menores que as das rádio AM.

Devido ao fato de que barreiras, tais como morros e prédios, atrapalham a propagação das ondas eletromagnéticas as antenas geralmente são instaladas em locais elevados e são utilizadas torres para se posicionar as antenas a uma grande altura.

É importante ressaltar que nas rádios AM a torre é a própria antena e nas televisões e rádios FM a torre é apenas utilizada para se posicionar a antena a uma grande altura.

No Brasil a telefonia celular utiliza frequências no entorno de 1 GHz (1 gigahertz = 1.000.000.000 Hz). Para esta frequência o comprimento de onda é:

$$f = 1 \text{ GHz} \Rightarrow \lambda = 300.000.000/1.000.000.000 = 30 \text{ centímetros};$$

$$L = \lambda/4 \text{ ou } L = 30/4 = 7,5 \text{ centímetros.}$$

Isto implica que as antenas de telefonia celular são bem pequenas tendo apenas alguns centímetros de comprimento. As antenas dos aparelhos individuais são realmente pequenas. No caso das ERB's elas utilizam uma associação destas pequenas antenas de modo a concentrar a energia em uma determinada direção e tem um tamanho médio de 1,5 metros.

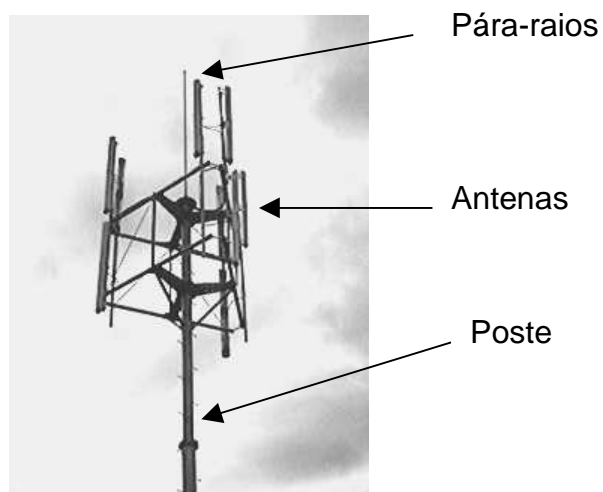
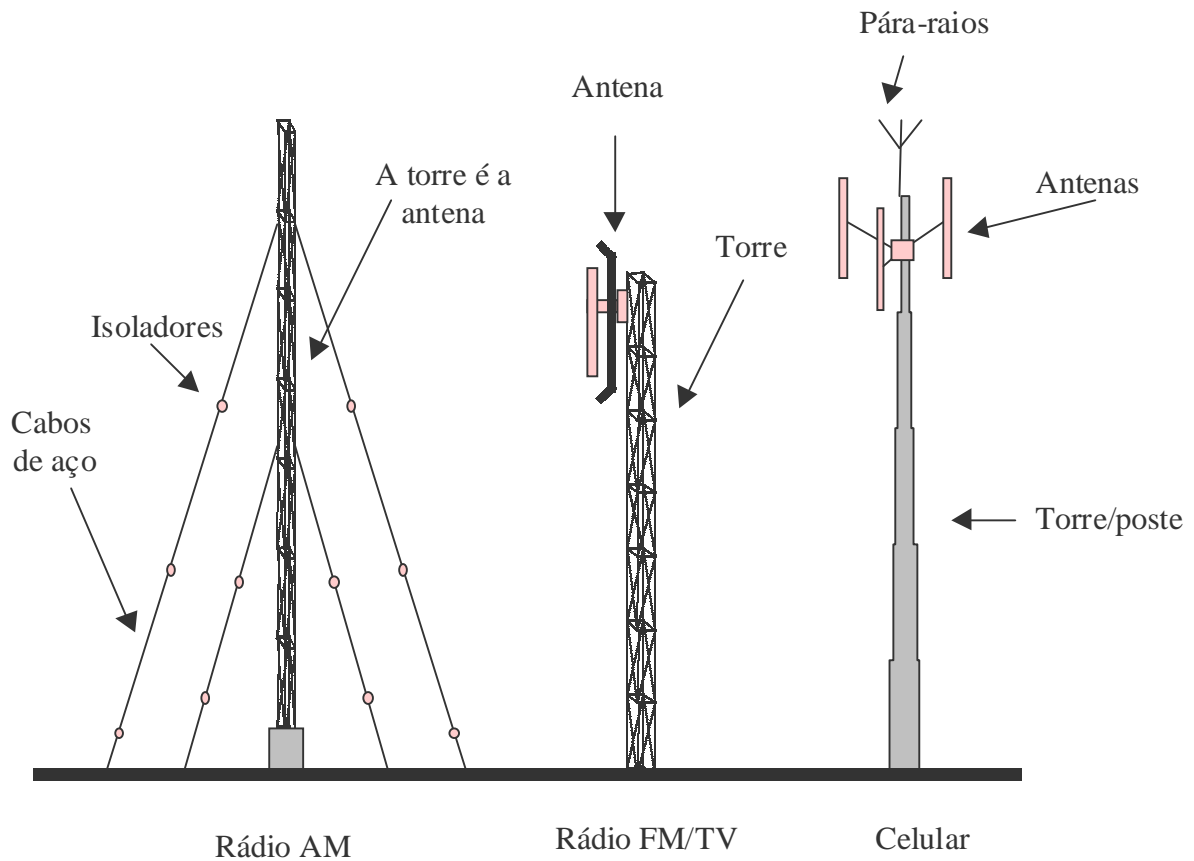


Figura 6 – Antenas de rádio AM, FM, TV e celular. Na foto, detalhe de uma antena de telefonia celular

Do mesmo modo que as antenas de FM, as antenas de celular são montadas em torres ou instaladas nos topos de prédios, apenas para que elas fiquem a uma grande altura.

Pode-se projetar antenas que espalham energia em todas as direções (antenas isotrópicas) ou antenas que direcionam a energia para uma determinada direção (antenas direcionais). Uma lanterna funciona como uma antena direcional, ela joga luz (ondas eletromagnéticas) apenas em uma direção. Uma lâmpada sem luminária, espalha luz em todas as direções e funciona como uma antena isotrópica.

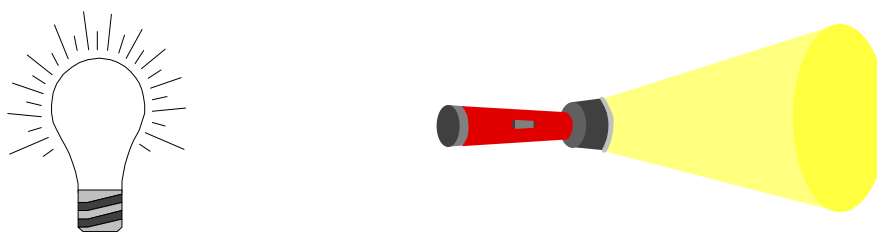


Figura 7 – Fonte de luz isotrópica (lâmpada) e fonte direcional (lanterna).

6 – O ambiente eletromagnético da Terra

No ambiente do Planeta Terra existem uma série de campos e ondas eletromagnéticas criadas por fontes naturais. Com a utilização maciça da energia elétrica a partir do início do Século XX, as várias fontes de campos criadas pelo homem começaram a mudar o ambiente eletromagnético do planeta.

A própria Terra é um grande imã, possuindo um campo magnético natural (campo que faz as bússolas funcionarem).

As nuvens de chuva carregadas criam grandes campo elétricos que originam as descargas atmosféricas (raios). Quando temos um raio uma grande onda eletromagnética é gerada. Essa onda atinge prédios, pessoas, redes elétricas e telefônicas e também os equipamentos eletro-eletrônicos.

Na região dos pólos tem-se o fenômeno da aurora boreal que é provocado por correntes elétricas induzidas nas camadas superiores da

atmosfera. Estas correntes podem, inclusive, provocar interferências em sistemas elétricos e telefônicos.

Uma das maiores fontes naturais de radiação eletromagnética é o sol. As reações nucleares que ocorrem no sol geram uma grande quantidade de energia eletromagnética que é jogada no espaço e uma boa parte desta energia atinge a terra. A atmosfera da terra funciona como um filtro e as radiações que chegam ao solo são atenuadas.

Todos os sistemas elétricos e eletrônicos criam campos e ondas eletromagnéticas e estes campos criados pelo homem se somam aos campos criados pelas fontes naturais. O crescimento vertiginoso da utilização da eletricidade e o conseqüente aumento dos níveis de campos eletromagnéticos no ambiente levou professores e pesquisadores de todo o mundo a começar estudar os efeitos destes campos no meio ambiente e principalmente os efeitos no ser humano.

7 – Como são feitas as pesquisas sobre os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos?

Normalmente são feitas pesquisas em laboratório onde são utilizadas fontes de campo eletromagnéticos e cobaias. Como cobaias alguns estudos chegaram a utilizar voluntários humanos, mas a grande maioria dos estudos utiliza animais ou pedaços vivos de tecidos (conjunto de células).

Outros tipos de estudos que são feitos são os chamados “estudos epidemiológicos”. Nestes estudos grandes grupos de pessoas são observados e a saúde das pessoas é monitorada durante grandes períodos de tempo. Pode-se imaginar dois bairros de uma mesma cidade onde em um dos bairros existe uma fonte de campo eletromagnético (subestação de energia, linha de alta tensão, antenas de telecomunicação, etc.) e no outro bairro não existe fonte de campo. Se for acompanhada a vida das populações dos dois bairros durante vários anos, a partir das diferenças que poderiam ocorrer em termos de saúde, algumas conclusões poderiam ser tiradas.

Os resultados obtidos tanto nas pesquisas de laboratório quanto nos estudos epidemiológicos precisam ser tratados e analisados com grande

cuidado. As populações das cidades são submetidas a tantos fatores de risco ao mesmo tempo que às vezes fica muito difícil obter resultados definitivos nos estudos epidemiológicos. Nas experiências de laboratório são utilizadas cobaias (animais) cujo tamanho e ciclo de vida (01 mês na vida de algumas cobaias equivale a alguns anos na vida de um ser humano) são tão diferentes do ser humano que também fica muito difícil extrapolar os resultados obtidos com as cobaias para o homem.

As pesquisas, tanto as que indicam algum tipo de risco, bem como as que não indicam nenhum risco, precisam ser avaliadas com critérios científicos rígidos. Para que os resultados de uma pesquisa sejam aceitos pela comunidade científica eles devem ser apresentados em congressos, publicados em revistas especializadas, sejam enfim, avaliados não só pelos autores da pesquisa mas também pelos outros estudiosos do assunto. Outro critério importante é que o experimento possa ser reproduzido em outro laboratório ou ambiente, por um outro grupo de pesquisadores e que os resultados obtidos sejam iguais aos obtidos no experimento original.

8 – Quem faz as Normas e Recomendações Técnicas?

Milhares de artigos científicos relatando experimentos realizados sobre os efeitos das radiações eletromagnéticas no ser humano já foram publicados. Os primeiros datam da época da segunda guerra mundial quando a utilização do radar (equipamento que opera com ondas eletromagnéticas muito intensas) gerou preocupações relativas à saúde dos operadores. Nos últimos anos o volume de artigos aumentou muito devido ao grande crescimento da utilização de equipamentos eletro/eletrônicos, dentre eles o telefone celular.

Os países possuem órgãos e agências reguladoras que são constituídos por especialistas do assunto que analisam os artigos e resultados publicados, selecionando aqueles considerados relevantes e confiáveis e emitem normas e recomendações técnicas que estabelecem níveis e limites considerados seguros para a população e usuários dos sistemas. No Brasil a agência reguladora da atividade de telecomunicações é

a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) que já regulamentou o assunto.

Como este assunto despertou interesse e atenção em todo o mundo, algumas comissões internacionais, contando com a participação de estudiosos de vários países, foram criadas. Uma das mais importantes comissões internacionais é a ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* – Comissão Internacional de Proteção Contra Radiações Não Ionizantes) ligada à Organização Mundial de Saúde - OMS. Esta comissão publicou uma Recomendação Técnica que é adotada em vários países inclusive o Brasil (o documento regulador da ANATEL é totalmente baseado no documento da ICNIRP).

A maioria dos países seguem as recomendações ANSI/IEEE (*American National Standards Institute/Institute of Electrical and Electronic Engineers-USA*) ou ICNIRP. A tabela 1 mostra os valores adotados em alguns países, ressaltando os países que utilizam recomendações mais restritivas que as da ICNIRP.

Tabela 1 – Valores adotados em alguns países

País	Recomendação adotada	Densidade de potência (W/m ²)	Comparação com o ICNIRP
Brasil*	ANATEL	4,35	Igual
Belo Horizonte	Lei municipal	4,35	Igual
Curitiba	Lei municipal	4,35	Igual
Porto Alegre	Lei municipal	5,80	Maior
Campinas	Lei municipal	1,00	Menor
Bauru	Lei municipal	1,00	Menor
São José dos Campos	Lei municipal	0,10	Menor
Estados Unidos	FCC/ANSI/IEEE	5,80	Maior
Canadá	CCG	5,80	Maior
Inglaterra	ICNIRP	4,35	Igual
Escócia	ICNIRP	4,35	Igual
Irlanda	ICNIRP	4,35	Igual
Alemanha	ICNIRP	4,35	Igual
Grécia	ICNIRP	4,35	Igual
Nova Zelândia	ICNIRP	4,35	Igual
Suíça	SFC	0,042	Menor
Itália	MDA	0,025	Menor

*Alguns municípios brasileiros, através de leis ou decretos municipais, adotaram níveis diferentes dos recomendados pela ANATEL/ICNIRP.

9 – Radiações ionizantes e não ionizantes – o espectro de freqüências.

Uma das mais importantes características dos campos e ondas eletromagnéticas é a sua freqüência.

A gama de freqüências das fontes naturais e também das fontes artificiais é muito grande. É comum apresentar-se um gráfico onde são relacionadas as várias freqüências e sua utilização. Este gráfico é chamado de espectro de freqüências ou espectro eletromagnético.

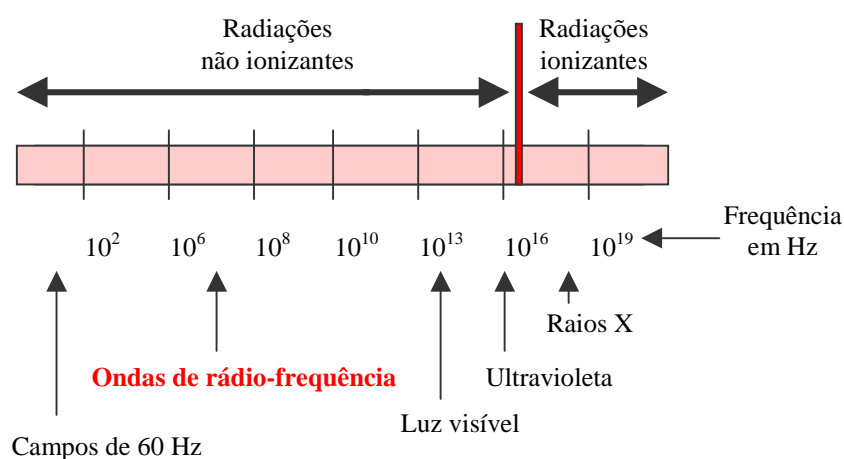


Figura 8 – Espectro eletromagnético.

Existe uma barreira no espectro eletromagnético que é muito importante. Esta barreira está localizada logo após as freqüências da luz visível e ela divide as radiações em dois grandes blocos. As radiações de freqüências inferiores à da barreira são chamadas de radiações não ionizantes e as radiações de freqüências acima da barreira são chamadas de radiações ionizantes.

Os tecidos vivos assim como todos os materiais são constituídos de partículas muito pequenas chamadas de átomos. De forma simplificada, o átomo pode ser descrito como um núcleo central envolvido por um conjunto ou nuvem de elétrons (pequenas partículas carregadas). Quando a radiação

eletromagnética incide em um material parte da energia pode ser absorvida pelos átomos constituintes do material. Dependendo da frequência da radiação, ao ser absorvida pelos átomos, a energia pode ser suficiente para provocar o arrancamento de elétrons dos átomos, formando íons (ionização), ou seja, provocando uma reação química. A estrutura do material que absorveu a energia da radiação irá sofrer mudanças em sua estrutura.

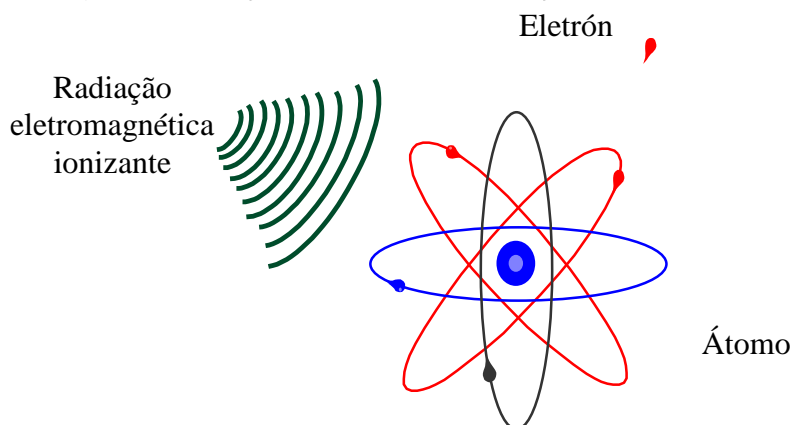


Figura 9 – Radiação ionizante.

Para que ocorra a ionização do material, a frequência da radiação tem de ser muito elevada. Apenas radiações com frequência acima do ultravioleta tem energia suficiente para ionizar o material. Estas radiações são conhecidas como radiações ionizantes. Sabe-se a muito tempo que estas radiações são muito prejudiciais ao ser humano. Um exemplo de radiação ionizante é o raio-X (frequências acima de um milhão de MHz), que é muito utilizado na medicina mas a sua dosagem tem de ser muito controlada e uma série de cuidados são adotados pelas pessoas que trabalham com este tipo de radiação.

Radiações com frequência abaixo do ultravioleta são chamadas de radiações não ionizantes porque elas não tem energia suficiente para provocar a ionização dos materiais. Ao serem absorvidas elas irão aumentar a temperatura do material.

As frequências utilizadas nos sistemas de telecomunicações (rádio, TV e telefonia celular) são radiações não ionizantes. Quando estas radiações incidem em um tecido vivo elas não provocam reações químicas. Elas irão

implicar em um aumento da temperatura do tecido (efeito térmico) e podem provocar alguns efeitos não térmicos tais como polarização ou vibração das moléculas ou células constituintes do tecido.

10 - Unidades de medida

Campos eletromagnéticos de alta frequência são quantificados em termos de intensidade de campo elétrico **E**, expressa em volts por metro (V/m), intensidade de campo magnético **H**, expressa em ampères por metro (A/m), e densidade de potência **S**, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

Alguns autores utilizam para caracterizar o campo magnético a densidade de fluxo magnético. Em resumo, as unidades utilizadas são:

Campo elétrico:

$E \Rightarrow$ Volts/metro

Campo magnético:

$H \Rightarrow$ Àmperes/metro

Densidade de fluxo magnético no ar:

$(B = \mu_0 H): \mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$

$B \Rightarrow$ Tesla: T, $\mu T = 1T/1.000.000$

$B \Rightarrow$ Gauss: 1G = 100 μT

Densidade de potência:

$S \Rightarrow$ Watts/ m^2 , mW/ cm^2

Taxa de absorção específica: (ver item 11)

$SAR \Rightarrow$ Watts/kg

Campos eletromagnéticos de rádio frequência mudam de característica com a distância a partir da sua fonte (antena). Para o estudo dos campos de rádio frequência, em geral, são definidas duas regiões distintas. A região de campo perto e a região de campo distante.

A região de campo perto está numa distância de aproximadamente " $r < 2D^2/\lambda$ " e a região de campo distante se estende a distâncias de " $r \geq 2D^2/\lambda$ ", onde " D " é a maior dimensão da antena e " λ " é o comprimento de onda.

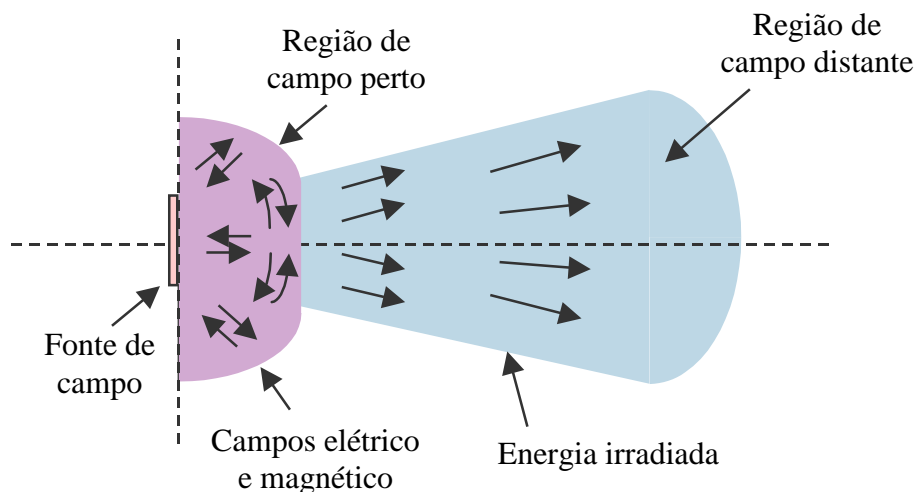


Figura 10 – Regiões de campo perto e campo distante.

Na região de campo perto os campos elétrico e magnético não são perpendiculares e não podem ser caracterizados como ondas. Nesta região, a estrutura do campo eletromagnético é bastante complexa, não existe uma relação direta entre os dois campos e para a caracterização do ambiente eletromagnético são necessários cálculos/medições dos dois campos.

Longe da fonte, na região de campo distante, os campos atuam como ondas planas e têm as seguintes características:

- Os vetores de campo elétrico, **E**, e campo magnético, **H**, são perpendiculares;
- A razão $\frac{E}{H}$ é chamada de impedância de onda **Z** e para o espaço livre é igual a 377Ω ;
- A densidade de potência, **S**, é a potência por unidade de área normal à direção de propagação;
- A densidade de potência em qualquer ponto é calculada através do produto vetorial entre os vetores de campos elétrico e magnético, ou seja, **S = EH**;
- **S** é também chamado de Vetor de Poynting, seu módulo quantifica a densidade de potência, e fornece a direção de propagação da energia.

- $S = EH$ ou $S = \frac{E^2}{377}$ ou $S = 377H^2$
- Ambos os campos elétrico **E** e magnético **H** variam com o inverso da distância à fonte, ou seja, $\frac{1}{r}$.
- A densidade de potência **S** varia com o inverso do quadrado da distância à fonte, ou seja, $\frac{1}{r^2}$.

Nesta situação, para o campo distante, é suficiente a medição de apenas um dos campos (elétrico ou magnético) ou a medição da densidade de potência.

11 - Taxa de absorção específica (SAR)

Para se estudar os efeitos biológicos das radiações eletromagnéticas é necessário utilizar parâmetros que caracterizem a intensidade da radiação e também caracterizem o corpo humano.

Um fator importante é que cada tecido do corpo humano tem uma taxa de absorção de energia diferente. Para uma mesma intensidade de radiação eletromagnética atingindo todo o corpo de uma pessoa, partes diferentes do corpo irão absorver quantidades de energia diferentes. Esta absorção de energia pode ser caracterizada por um parâmetro conhecido como **SAR** – taxa de absorção específica (do inglês: “Specific Absorption Rate”). A taxa de absorção de energia depende da densidade de potência da radiação eletromagnética e das características do tecido onde a radiação incide. Alguns tecidos do corpo humano são mais “sensíveis” ou seja, absorvem mais energia e portanto podem ter uma maior elevação de temperatura.

Em outras palavras, pode-se dizer que a **SAR** quantifica a potência absorvida por unidade de massa. A **SAR** é diretamente proporcional ao aumento local de temperatura, responsável pelos efeitos térmicos das ondas eletromagnéticas. Portanto, a **SAR** indica a energia aplicada e o aumento de temperatura, em qualquer parte do corpo.

Para exposição de corpo inteiro utiliza-se o conceito de **SAR média**, que é definida como a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa. Para exposição localizada, como por exemplo devido a telefones celulares portáteis irradiando campos muito próximos à cabeça do usuário, utiliza-se o conceito de **SAR local**, que é definida como a potência absorvida por um determinado volume ou massa unitário, usualmente uma grama de tecido.

Os valores de **SAR** são muito difíceis de serem medidos e o que é usualmente medido é a densidade de potência e o valor da **SAR** é calculado.

12 – Efeitos biológicos – efeitos térmicos e efeitos não térmicos.

O primeiro e mais importante efeito das radiações eletromagnéticas, nas frequências utilizadas em telecomunicação, é o aquecimento dos tecidos onde elas incidem (efeito térmico).

Os animais de sangue quente, dentre eles o homem, precisam de um sistema de controle de temperatura corporal bastante sofisticado. Quando ficamos expostos ao sol forte algum tempo, a temperatura do corpo tende a subir e o corpo reage no sentido de abaixar a temperatura. O suor é um dos mecanismos utilizados pelo corpo na tentativa de manter a temperatura estável.

Não só a radiação eletromagnética em excesso provoca a elevação da temperatura corporal. Exercícios físicos, bem como alterações no metabolismo, também provocam o aumento da temperatura.

A partir de uma série de estudos e experimentos foi determinada a intensidade de radiação eletromagnética (expressa em termos de densidade de potência = watts por metro quadrado = W/m^2) nas frequências utilizadas na telefonia celular, que incidindo no ser humano provocasse uma elevação de temperatura do corpo de menos de um grau centígrado ($SAR = 4 W/kg$). Esta intensidade foi dividida por um fator de segurança igual a **50 (cinquenta vezes)**. O valor obtido é o valor máximo sugerido pela comissão ICNIRP, e adotado pela ANATEL, como valor ao qual o ser humano pode ser submetido durante 24 horas por dia em ambiente não controlado.

Este valor corresponde a uma densidade de potência de **4,35 W/m²** , equivalente a uma SAR de 0,08 W/kg. Para se ter uma idéia do que isto significa pode-se comparar com densidade de potência emitida pelo sol é recebida no solo, na região tropical do planeta, ao meio dia, que é da ordem de **1000 W/m²**.

Os limites propostos nas regulamentações são baseados em critérios térmicos. Alguns pesquisadores tem sugerido que níveis de radiação não ionizante **elevados** poderiam provocar nos tecidos vivos outras alterações além dos efeitos térmicos. Uma das possibilidades aventadas é a de quebra de cadeias de DNA que existem dentro das células, o que poderia ser um fator de risco potencial para o início de um processo cancerígeno. Outros estudos aventam a possibilidade de alterações nos sistemas reprodutivos (testículos e ovários). Várias pesquisas estão em andamento no mundo sobre, não só os efeitos na cadeia de DNA, mas também sobre outros possíveis efeitos biológicos diretos (efeitos não térmicos). No endereço eletrônico da Universidade de Wisconsin (ver referências bibliográficas) o Dr. J. Moulder, a respeito dos efeitos não térmicos, conclui:

In a 2001 review, Pickard and Moros [WF Pickard and EG Moros: Energy deposition processes in biological tissue: Nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra-high frequency range. Bioelectromag 22:97-105, 2001.] conclude that:

"The prospects of UHF (300-3000 MHz) irradiation producing a nonthermal bioeffect are considered theoretically and found to be small.... Finally, it is concluded that the rate of energy deposition from a typical fields and within a typical tissue is so small as to make unlikely any significant nonthermal biological effect."

Traduzindo: Numa revisão feita em 2001, Pickard and Moros concluíram que:

As possibilidades da radiação eletromagnética de alta frequência (300-3000 MHz) produzirem efeitos biológicos não térmicos foram analisadas teoricamente e foram consideradas muito pequenas...Finalmente, a conclusão é de que a taxa de deposição de energia por campos típicos em

tecidos típicos é muito pequena para produzir efeitos biológicos não térmicos significativos.

13 – Cálculo e medição da intensidade da radiação eletromagnética

Os valores da potência irradiada ou dos campos criados por uma antena podem ser determinados por meio de cálculos matemáticos ou através de medições.

Em regiões onde existem muitos anteparos (prédios, casas, morros, etc.) a medição, geralmente, leva a valores mais precisos que os cálculos.

Existem dois tipos de medição:

- isotrópica e de banda larga;
- direcional e seletiva.

Na medição isotrópica e de banda larga utiliza-se um medidor que mede o campo em todas as direções (isotrópico) e todos os campos presentes no ambiente na faixa de 100 kHz a 3,0 GHz (TV, rádio, lâmpadas fluorescentes, telefonia celular, etc.). O valor fornecido pelo medidor é o valor resultante da soma de todos os campos presentes no ambiente na faixa de frequência utilizada. Neste tipo de medição não é possível saber qual fonte está criando os campos nem de que direção eles vem.

Na medição seletiva e direcional, a medição é feita numa pequena faixa de frequência (seletiva), por exemplo a faixa utilizada por uma determinada empresa, e é possível também determinar a posição da fonte de campo (direcional).

14 – Existe diferença entre a radiação emitida pelos aparelhos individuais e as ERB's?

A radiação emitida tanto pelas ERB's quanto pelos aparelhos individuais é a mesma, é importante ressaltar que a grande diferença está no valor da densidade de potência que atinge quem está perto da torre ou quem está utilizando o telefone. A densidade de potência emitida por uma fonte

está relacionada com a potência da fonte e com a distância da pessoa à fonte. À medida que se afasta da fonte/antena a densidade de potência diminui aceleradamente.

A potência dos transmissores existentes nas ERB's é bem maior que a potência dos transmissores existentes nos aparelhos individuais, por outro lado as distâncias envolvidas são bem diferentes. Uma pessoa fica a apenas alguns centímetros do aparelho e em relação as antenas de uma ERB ela fica distante alguns metros. Isto implica que a densidade de potência que atinge a pessoa será muito diferente nos dois casos. A densidade de potência varia com o inverso do quadrado da distância (d) à fonte ($1/d^2$).

A figura 11 mostra uma vista de topo da densidade de potência de uma antena de alto ganho de uma ERB de 1000 W.

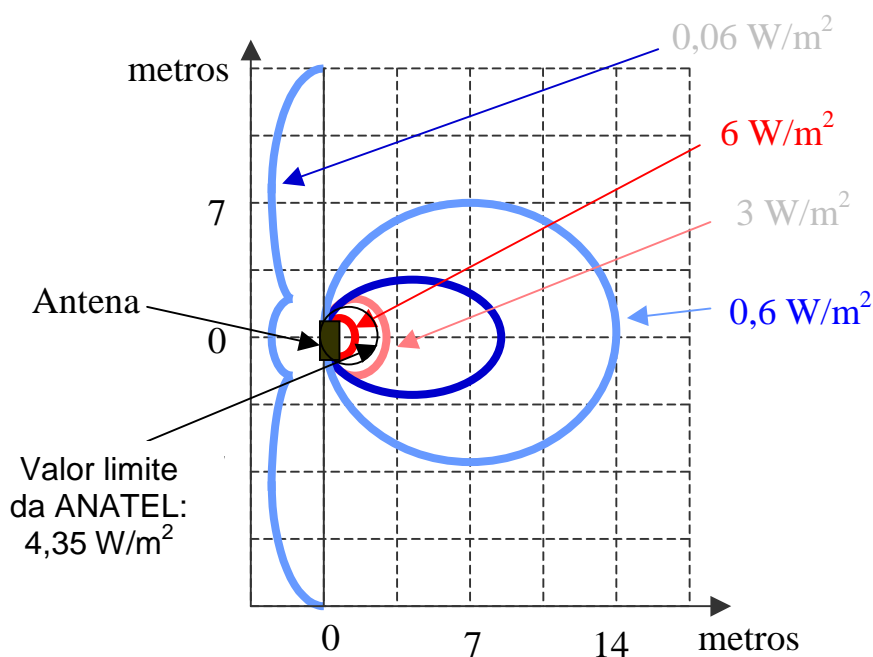


Figura 11 – Densidade de potência de uma antena de alto ganho (1000 W), vista de topo.

A densidade de potência originada nos aparelhos individuais depende do tipo de aparelho (analógico, digital, fabricante, potência, etc.). Para dar segurança ao usuário a ANATEL exigirá que todo aparelho celular, comercializado no Brasil, traga gravado no próprio corpo do aparelho o valor

densidade de potência emitida, expressa em termos da SAR_{local} (taxa de absorção específica localizada) que deve ser inferior a 2 W/kg.

15 – A situação atual – Medições realizadas em Minas Gerais e em outros países

Medições da densidade de potência feitas nas proximidades de ERB's na Inglaterra, no Canadá e em Minas Gerais mostram os seguintes valores:

Inglaterra e Canadá:

Valores típicos: 0,002 watts/m²;

Valores máximos: 0,1 watts/m²;

Minas Gerais:

Valores típicos: 0,002 watts/m²;

Valores máximos (antenas instaladas em torres): 0,01 watts/m²;

Valores máximos (antenas em prédios): 0,2 watts/m²;

Pode-se notar que mesmos nos casos mais críticos a densidade de potência das antenas das ERB's é cerca de 20 vezes menor que a densidade máxima recomendada pela ANATEL e que a densidade típica das antenas das ERB's é de cerca de 2000 vezes menor. É importante lembrar que o limite de 4,35 w/m², já incorpora um fator de segurança de 50 vezes.

16 – Quais são os valores de campo criados por outros aparelhos?

Como dito anteriormente, os equipamentos eletro/eletrônicos também criam campos eletromagnéticos em seu redor. Valores típicos destes campos, medidos na faixa de 100 kHz a 3 GHz são, apresentados na tabela 2. Os valores são expressos em termos de campo elétrico (V/m) e também em termos de densidade de potência (W/m²).

**Tabela 2 – Campos eletromagnéticos - Valores típicos
(100 kHz a 3 GHz)**

Equipamento	Campo Elétrico (V/m)	Densidade de potência (W/m²)
Forno de microondas (medição feita a 30 cm)	12,0	0,32
Vídeo de computador (medição feita a 30 cm)	3,0	0,024
Televisor (medição feita a 30 cm)	2,0	0,017
Estação rádio-base (ERB)	0,9	0,002

17 – As ERB's interferem em outros equipamentos?

Não haverá interferência por dois motivos: primeiro, a emissão eletromagnética da torre é muito fraca e não tem energia suficiente para interagir com outros equipamentos; segundo, o sistema celular trabalha com frequência exclusiva, diferente das frequências utilizadas em controles remotos de TV, portão eletrônico e computadores.

No caso do marcapasso e outros dispositivos médicos implantados no corpo, a recomendação existente é relativa ao aparelho celular portátil que não deve ficar muito próximo do dispositivo implantado.

Nos casos de aviões e postos de gasolina a recomendação existente também é relativa aos aparelhos portáteis tendo-se em vista que a densidade de potência da radiação eletromagnética dos aparelhos portáteis é muito maior que a emitida pelas ERB's.

18 – Conclusões

Como conclusões pode-se afirmar:

- As antenas de telefonia celular já estão instaladas em cidades dos EUA, Japão e países europeus há mais de dezessete anos e não

se constatou nenhum efeito na saúde das pessoas que residem próximas dessas antenas;

- As recomendações vigentes são baseadas em critérios térmicos e os efeitos não térmicos ainda não foram comprovados: nenhum estudo, aceito sem restrições, provou que existem efeitos não térmicos desde que obedecidos os níveis máximos de radiação recomendados pela ANATEL;
- A maioria dos países adota algum tipo de regulamentação, permitindo a utilização da telefonia celular, estabelecendo limites para a radiação eletromagnética emitida tanto pelos aparelhos individuais, quanto para as antenas fixas;
- As medições já realizadas no entorno de estações rádio base (ERB's) indicam que os níveis atuais estão muito abaixo dos limites propostos.

19 - Referências Bibliográficas

19.1 - Endereços na INTERNET

OMS – Organização Mundial de Saúde: <http://www.who.int/home-page>

ICNIRP - Comissão Internacional de Proteção Contra Radiações Não Ionizantes: <http://www.who.int/ina-ngo/ngo/ngo042.htm>

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações: <http://www.anatel.gov.br>

FCC - Agência reguladora dos Estados Unidos: <http://www.fcc.gov>

Escola de Medicina da Universidade de Wisconsin – USA: <http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>.

Estudo Inglês - "Independent Expert Group on Mobile Phones" ("Stewart Commission" - UK): <http://www.iegmp.org.uk/IEGMPTxt.htm>.

Estdo canadense – “A review of the potential risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices. Royal Society of Canada, Ottawa, Ont.”: <http://www.rsc.ca/english/RFreport.pdf>.

19.2 - Dissertações de mestrado

Dissertação de mestrado de Luciana Andrade e Guerra. Orientada por José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Medição dos Campos Elétrico e Magnético de Baixa Freqüência – 5 Hz a 30 kHz – Visando Segurança Pessoal*. Defendida em 21 de dezembro de 1998.

Dissertação de mestrado de Vilcker Germano Martins. Orientada por José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Medição de campos eletromagnéticos de alta freqüência (100 kHz a 3 GHz) gerados por equipamentos eletro-eletrônicos visando segurança pessoal*. Defendida em 25 de fevereiro de 2000.

19.3 - Artigos científicos

Foster, K.R.; Moulder, J.E.; *Are mobile phones safe?* IEEE Spectrum, August 2000, pp 23-28.

Salles, A.A.A.; Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos. *Anais do IV Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo – Cbmag/00*, 19 a 22 de novembro de 2000, Natal, RN, Brasil. Editado por Maria Rosa M. Lins de Albuquerque, Adaildo Gomes D’Assunção. Vol. 1, p. 05-09.

Gheyi, M.; Alencar, M.S.; Glionna, G.; Rodrigues, S.L.C.; Wanderley, R.R.; Diniz, M.C.V.; Alterações na reprodução de ratos de laboratório submetidos à radiação de microondas. *Anais do IV Congresso Brasileiro de*

Eletromagnetismo – Cbmag/00, 19 a 22 de novembro de 2000, Natal, RN, Brasil. Editado por Maria Rosa M. Lins de Albuquerque, Adaildo Gomes D'Assunção. Vol. 1, p. 41-44.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. *Health Physics* 74:494-522, 1998.

IEEE C95.1-1991, Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, U.S.A., 1992.

Kunsh, B., The European Pre-Standard ENV 50166 "Human Exposure to Electromagnetic Fields" in Perspective, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 17-20, 1996, Rome, Italy.

Vellano Neto, V., Characterization of the Electromagnetic Emissions From Radio-Base Stations of the Celular Telephony System Regarding Safety, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, December 05-09, 1994, São Paulo-SP, Brasil.

Bernardi, P., Cavagnaro, M. and Pisa, S., Evaluation of SAR Distribution in the Human Head for Cellular Phones Used in a Partially Closed Environment, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol.38, N^o.3, August 1996.

Lazzi, G. and Gandhi, P., Numerical and Experimental Procedures for SAR Distributions Due to Mobile Telephones: na Overview, tutorials from the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 17-20, 1996, Rome, Italy.

Gandhi, O.P., and Chen, J.Y., Electromagnetic Absorption in the Human Head for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 13-16, 1994, Rome, Italy.

Coray, R. e Gassmann, F., RF Exposure in a Shortwave Transmitter Environment including the influence of Building Structure and Human Body, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 13-16, 1994, Rome, Italy.

Senise, José Thomaz, Efeitos Biológicas das Radiações Não Ionizantes: Normas de Segurança para a Exposição a Campos de Rádio Frequência e Microondas, Instituto Mauá de Tecnologia, Revista Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Vol 11, nº 1, Dez-1996.

Salles, Álvaro Augusto A., Efeitos Biológicos dos Telefones Celulares Portáteis, Dept. Eng.Elétrica da UFRGS, Revista Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Vol 11, nº 1, Dez-1996.

ICNIRP, R. Matthes, Non Ionizing Radiation, Proceedings of the Third International Non-Ionizing Radiation Workshop, Baden, Austria, 1996.

Kin, César, Telefonia Móvel Celular, apostila do Cedetec - Inatel, 1997

Manual de operação do equipamento de medição de campos eletromagnéticos EMR-300 da Wandel & Goltermann, 1996

19.4 – Livros

Rappaport, T.S.; *Wireless Communications – Principles & Practice*. Prentice Hall Communications Engineering and Emerging Technologies Series. ISBN 0-13-375536-3. USA, 1996.

20 - Sobre o autor

Engenheiro Eletricista pela UFMG – 1979.

Mestre em Ciências pela UFMG – 1985.

Doutor em Engenharia Elétrica pela UNICAMP - 1993.

Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG desde 1980.

Atualmente leciona a disciplina COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA para os cursos de graduação em Engenharia Elétrica, graduação em Engenharia de Controle e Automação e pós-graduação em Engenharia Elétrica: Mestrado, Doutorado e Especialização em Engenharia de Telecomunicações, todos da UFMG.

Já orientou duas dissertações de mestrado sobre o tema em questão.

Coordena dois projetos de pesquisa na área, um financiado pelo Fundo FUNDEP/UFMG e outro financiado pela FAPEMIG.

Participou da elaboração do primeiro Projeto de Lei apresentado à Câmara de Vereadores de Belo Horizonte que regulamenta a instalação de torres de telefonia celular no município.

Já prestou consultoria, via Fundação Christiano Ottoni, para, dentre outras empresas: Telebrás, Telemig, CPqD/Telebrás, Telemig-Celular, Telemar, Maxitel, Toshiba, Cemig, Tela-Kascher, Senior Engenharia, Dalben Consultoria, Belgo Mineira, Rima, Nansen e Gasmig.