

Avaliação Ambiental dos Campos Eletromagnéticos Irrradiados por uma Estação Rádio Base

Environmental Assessment of Electromagnetic Fields Emitted by a Radio Base Station

Wanderson de Andrade Paula Manhães^{*}
Marcos Antonio Cruz Moreira^{**}
Pedro Armando Vieira^{***}
Severino Joaquim Correia Neto^{****}

Resumo

A exposição crescente da população em geral às ondas eletromagnéticas em decorrência do crescimento acelerado das facilidades e tecnologias de telecomunicações sem fio tem motivado a investigação dos possíveis efeitos, sob o ponto de vista da saúde pública, em geral e ocupacional, dos indivíduos envolvidos. Como contribuição da Engenharia Ambiental ao assunto foi efetuada uma revisão abrangente da literatura e realizadas medidas de campo para avaliar a conformidade da Estação Rádio Base localizada no *campus* Macaé do Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) como estudo de caso.

Palavras-chave: Eletromagnetismo. Radiação Não Ionizante. Micro-ondas.

Abstract

The increasing exposure of the general public to electromagnetic waves due to the rapid growth of facilities and wireless telecommunication technologies has motivated research of its possible effects from the point of view of public health in general, as well as occupational health of the workers involved. As an Environmental Engineering contribution to the subject, a comprehensive literature review on the subject and field measurements were conducted in order to assess compliance of the Radio Base Station located on the Macaé campus of IF Fluminense as a case study.

Key Words: Electromagnetism. Non-Ionizing Radiation. Microwaves.

^{*} Mestre em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense). Professor da Prefeitura Municipal de Carapebus, Carapebus/RJ - Brasil. E-mail: wanderson_manhaes@id.uff.br
^{**} Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense, *campus* Macaé), Macaé/RJ - Brasil. E-mail: macruz@iff.edu.br
^{***} Mestre em Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Engenheiro de Telecomunicações da Petrobras e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense, *campus* Macaé), Macaé/RJ - Brasil. E-mail: pedro-vieira@oi.com.br
^{****} Mestre em Sistemas de Gestão pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense, *campus* Macaé), Macaé/RJ - Brasil. E-mail: neto.severino@uol.com.br

1 Introdução

Campos eletromagnéticos (CEM) ocorrem na natureza e sempre estiveram presentes na Terra. Entretanto, durante o século XX, a exposição ambiental a fontes de CEM criadas pelo homem aumentou consistentemente devido à demanda por energia elétrica, tecnologias sem fio em permanente evolução e mudanças em práticas profissionais e comportamento social. Todos estão expostos a uma mistura complexa de campos elétricos e magnéticos, em muitas frequências diferentes, em casa ou no trabalho (OMS, 2002).

Desde meados do século XX, a preocupação com os efeitos sobre a saúde humana da exposição aos campos eletromagnéticos tem sido crescente objeto de preocupação. De acordo com o Instituto Edumed para Educação em Medicina e Saúde, em seu artigo intitulado *Padrões e Políticas de Proteção da Radiação Não-Ionizante*,

as pesquisas sobre radiações não ionizantes (NIR em Inglês), em particular sobre a radiofrequência (RF), começou na década de 1950, logo após a Segunda Guerra Mundial, mas a regulamentação sobre limitação da exposição começou bem mais tempo depois, nos anos 70, apenas.

O primeiro esforço significativo para estabelecer limites internacionais de exposição às NIR foi feito pela *International Radiation Protection Association* (IRPA), que formou um grupo de trabalho sobre NIR para examinar as questões de radioproteção. Em 1977, este grupo de trabalho tornou-se o *International Non-Ionizing Radiation Commission* (INIRC). Dentro do programa da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre Saúde Ambiental, a IRPA e o INIRC desenvolveram vários critérios de saúde ambiental (*Environmental Health Criteria* - EHC) e documentos sobre NIR, cada um dos quais incluía diversos resumos das características físicas, medição e instrumentação, origens e aplicações da NIR, uma ampla revisão da literatura sobre efeitos biológicos, e uma avaliação dos riscos para a saúde da exposição à NIR. Estes EHCs forneceram a base de dados científicos para o desenvolvimento posterior dos limites de exposição e códigos de boas práticas relativas à proteção da exposição às NIRs. (LASR, 2010).

Um campo eletromagnético é um campo composto de dois vetores: o campo elétrico e o campo magnético. Os vetores (E e H) que caracterizam esses dois campos possuem um valor definido a cada ponto no espaço e tempo. Se apenas o campo elétrico (E) não for nulo, e constante no tempo, esse campo é denominado campo eletrostático. E e H (o campo magnético) são unidos pelas Equações de Maxwell.

Por definição uma onda eletromagnética consiste de uma mútua alternância entre uma variação de campo magnético, que por sua vez gera um campo elétrico, os campos elétricos são gerados pela diferença de potencial entre dois pontos no espaço, e uma variação no campo elétrico que produz uma corrente e que gera um campo magnético. Esta energia alternando de um campo para o outro e propagando-se no espaço na forma ondulatória é a chamada onda eletromagnética.

Campos eletromagnéticos também podem ser explicados com base quântica pela eletrodinâmica quântica. Porém este trabalho não se aprofundará nas definições quânticas

embora o estudo do Eletromagnetismo fuja das definições da física clássica vez ou outra.

O Quadro 1, a seguir, apresenta as grandezas eletromagnéticas mais comumente empregadas nos estudos sobre exposição a campos eletromagnéticos e as respectivas unidades no Sistema Internacional.

Absorção Específica	S_A	Joule por quilograma ($J.kg^{-1}$)
Campo Elétrico	\overline{E}	Volt por metro (Vm^{-1})
Campo Magnético	\overline{H}	Ampère por metro ($A.m^{-1}$)
Condutividade	Σ	Siemens por metro ($S.m^{-1}$)
Corrente	I	Ampère (A)
Densidade da corrente	\overline{J}	Ampère por metro quadrado ($A.m^{-2}$)
Densidade de Fluxo Magnético	\overline{B}	Tesla (T)
Frequência	f	Hertz (Hz)
Permeabilidade Magnética	μ	Henry por metro ($H.m^{-1}$)
Permissividade	ϵ	Farad por metro ($F.m^{-1}$)
Taxa de Absorção Específica	SAR	Watt por quilograma ($W.kg^{-1}$)

Quadro 1: Grandezas elétricas, eletromagnéticas, dosimétricas e unidades correspondentes SI

Fonte: Próprios autores (2014)

2 O Conceito de Poluição Eletromagnética e seus Efeitos sobre a Saúde Humana, Animal e Vegetal

Efeitos potenciais dos Campos Eletromagnéticos (CEM) gerados pelo homem sobre a saúde têm sido objeto de interesse desde os anos 1970, a princípio sob o ponto de vista da saúde pública conforme estudos conduzidos por agências governamentais. Trabalhos pioneiros de Mills et al. (1971) para a FDA (*Food and Drug Administration*) do Departamento de Agricultura dos EUA e Tell (1973) para a EPA (*Environmental Protection Agency*) são marcos iniciais na questão. O assunto tem recebido atenção crescente ao longo dos últimos trinta anos pelo aumento no número de equipamentos em utilização, assim como pelo uso de frequências cada vez mais elevadas no espectro de micro-ondas. A Figura 1 ilustra o crescimento das ordens de grandeza do número de equipamentos e das frequências de operação ao longo dos anos. Um ponto significativo que decorre desse crescimento é a eventual interferência recíproca entre os equipamentos, que leva às questões de Compatibilidade Eletromagnética (EMC – *Electromagnetic Compatibility*) e Interferência Eletromagnética (*Electromagnetic Interference*).

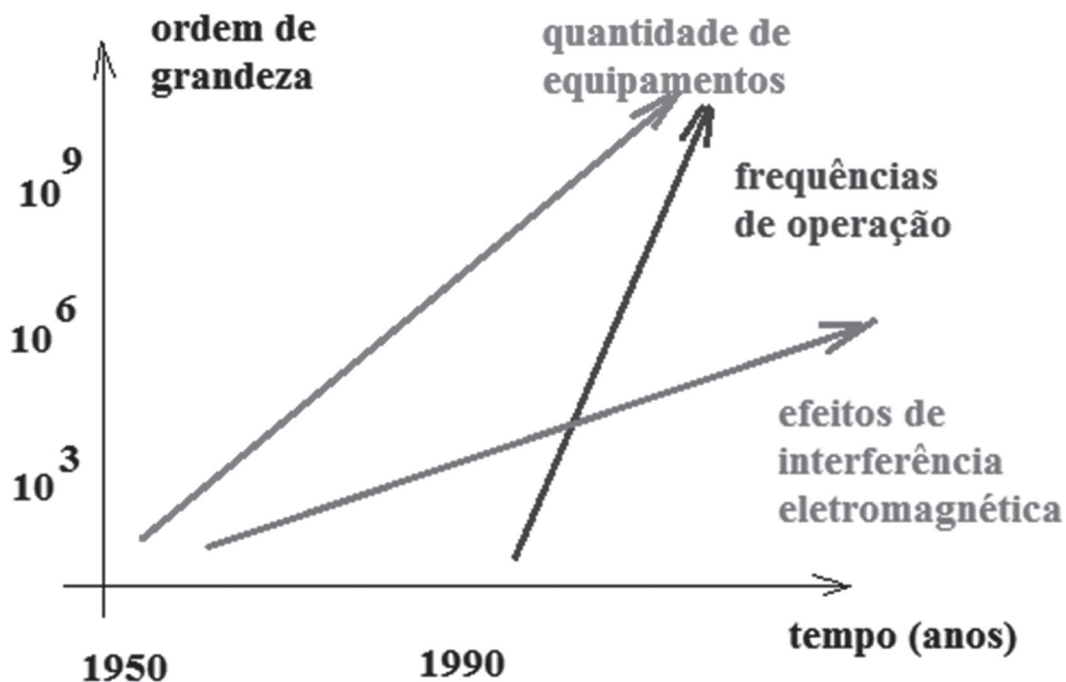


Figura 1: Evolução do problema de EMC/EMI

Fonte: www.abricem.org com adaptação dos autores (2014)

| 156 |

Esse crescimento justifica a cunhagem da expressão “Poluição Eletromagnética” (YUPING et al., 2005; BALMORI, 2009; GENÇ et al., 2010) que tem acepções diferentes conforme seja objeto de estudo pela Engenharia Elétrica e Engenharia de Telecomunicações (preocupadas com as questões de compatibilidade eletromagnética e interferência eletromagnética) ou pela Medicina e Engenharia Ambiental (preocupadas com os efeitos sobre a saúde humana e sobre os ecossistemas). Dessa forma, a poluição ambiental decorrente do eletromagnetismo é um tema de pesquisa relevante, estreitamente ligado a duas vertentes de pesquisa: uma delas investiga o efeito sobre a saúde humana e outra investiga a compatibilidade eletromagnética, ou seja, os limites de interferência recíproca entre equipamentos.

Para a Engenharia Ambiental vale ressaltar que as preocupações com os efeitos dos CEM não se restringem à saúde humana. Outra preocupação referente a campos elétricos e magnéticos que tem grande importância a ser citada é a exposição de Unidades de Preservação Ambiental. Como fica bem claro em Gomide (2008), as redes de transmissão produzem impactos ambientais em sua vizinhança. Alguns estudos serviram de base para criação de mapas de intensidades que por sua vez estabeleceram os limites das habitações humanas referente às redes de transmissão elétrica. A partir desses trabalhos a atenção voltou-se para a fauna e também a flora circundante a estas fontes de radiofrequência. Existem muitas possibilidades de interferência destas emissões nas vidas micro e macroscópicas, comunicações entre determinadas espécies de animais, rotas migratórias, desenvolvimento vegetal, entre muitos outros tópicos.

Existem iniciativas, voltadas para esses fins, como o grupo de técnicos do IBAMA que criou um “Modelo de valoração econômica dos impactos ambientais em unidades de conservação” de forma a avaliar e calcular as possíveis compensações ambientais.

Essas análises são feitas com base em pesquisas científicas internacionais, e com estas são propostas tabelas de riscos ambientais advindos das radiações, que permitem verificar a situação de cada região dentro do perímetro das unidades ou zonas de amortecimento.

3 O Espectro de Frequência dos Campos Eletromagnéticos

Os CEM podem ser divididos, de maneira geral, entre campos elétricos e magnéticos estáticos e variantes no tempo, neste último caso dividido entre emissões de baixa frequência — onde as fontes comuns incluem linhas de transmissão, aparelhos eletrodomésticos e computadores, e emissões de altas frequências ou de radiofrequências, para os quais as fontes principais são radares, instalações de emisoras de rádio e televisão, telefones móveis e suas estações rádio-base, aquecedores de indução e dispositivos antirroubo. (OMS, 2002).

De acordo com boletins da OMS as radiações não ionizantes, ao contrário das radiações ionizantes, tais como raios gama emitidos por materiais radioativos, raios cósmicos e raios X, que ocupam a parte superior do espectro eletromagnético, são demasiado fracas para quebrar as ligações que mantêm as moléculas ligadas em células e, portanto, não podem produzir ionização. É por essa razão que CEM são chamados de ‘radiações não ionizantes’ (RNI) (OMS, 2002).

Os limites da exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, visando a garantir a proteção da saúde e do meio ambiente foram estabelecidos no Brasil pela Lei 11.934 de 5 de maio de 2009 e a Regulamentação sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, que são as radiações foco deste trabalho, são estabelecidas na Resolução.º 303, de 2 de julho de 2002 publicada pela ANATEL em consonância com as normas e os estudos publicados pela OMS.

Para fins de licenciamento e adequação das instalações existentes, que são geradoras de irradiação eletromagnética, os órgãos reguladores estabelecem diversos procedimentos de medição e verificação de conformidade. Um paradigma bem estabelecido na área de estudos sobre compatibilidade e interferência eletromagnéticas descreve que no início de um projeto de equipamento ou instalação existe grande disponibilidade de técnicas a baixo custo para minimização dos efeitos de irradiação. Essa situação se inverte quando se trata da adequação de um equipamento ou instalação já em operação, quando as técnicas disponíveis são mais restritas e o custo de implantação maior.

Em função da legislação mencionada acima (Lei 11.934/2009), diversos empreendimentos têm que se adequar, nos termos da lei, que define como sistema de energia elétrica “o conjunto

de estruturas, fios e cabos condutores de energia, isoladores, transformadores, subestações e seus equipamentos, aparelhos, dispositivos e demais meios e equipamentos destinados aos serviços de geração, transmissão, distribuição e ao uso de energia elétrica” e também define como áreas críticas aquelas “localizadas até 50 (cinquenta) metros de hospitais, clínicas, escolas, creches e asilos”.

A abordagem citada acima se refere aos Campos Eletromagnéticos (CEM) de baixa e baixíssima frequência, *Extremely Low Frequency* (ELF) e remete para a agência reguladora dos serviços de telecomunicações (ANATEL) a expedição de normas referentes a emissões de frequências mais altas. Em virtude de uma extensa faixa espectral geradora de CEMs, por razões metodológicas, deve-se deixar claro que este trabalho se restringe apenas à análise das problemáticas referentes a CEM de frequência ultra-alta, *Ultra High Frequency* (UHF).

O espectro de radiofrequência pode ser resumido conforme faixas e características assim apresentadas (FELICE, 2005):

- Faixa ELF (*Extremely Low Frequency*) – Faixa de frequência cujas ondas penetram razoavelmente no solo ou na água, portanto possui aplicações em comunicação com submarinos e escavações de minas. As aplicações operam nessa faixa com transmissores de alta potência e grandes antenas;
- Faixa VLF (*Very Low Frequency*) – O mecanismo de propagação utilizado nessa faixa é a reflexão ionosférica, sendo considerado um ótimo condutor, pois induz pequena atenuação na onda refletida;
- Faixa LF (*Low Frequency*) – Até os 30kHz nessa faixa, que vai até os 300kHz, a reflexão ionosférica é utilizada, embora a atenuação na onda seja maior que a da faixa de VLF;
- Faixa MF (*Middle Frequency*) – Acima de 300kHz até 3 GHz, o mecanismo de propagação utilizado é o de ondas de superfície com menor atenuação que o da reflexão ionosférica;
- Faixa HF (*High Frequency*) – Nessa faixa de frequência aparece o mecanismo da refração ionosférica, visto que em regiões mais próximas do transmissor ainda permanece a presença das ondas de superfície;
- Faixa de VHF (*Very High Frequency*) em diante – Nessas faixas não se utiliza mais a refração ionosférica, pois as ondas refratadas não atingem o ângulo necessário até os limites da ionosfera para retornar à superfície terrestre. Acima de VHF são usadas antenas diretivas que concentram a energia em feixes mais estreitos, estabelecendo as ligações por meio da onda espacial direta entre as duas antenas – transmissora e receptora, formando sistemas em visada direta. Nas faixas de VHF e UHF (*Ultra High Frequency*) é possível trabalhar com enlaces obstruídos, enquanto que nas faixas de SHF (*Super High Frequency*) e EHF (*Extremely High Frequency*) deve-se necessariamente ter visibilidade direta. Todos esses dados e suas faixas específicas podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Faixas de frequências

Faixas de Frequências			
Limite de frequência	Compr. de onda - λ	Denominação	Observações
30 - 300 Hz	$10^4 - 10^3$ Km	ELF	-
300 - 3000 Hz	$10^3 - 10^2$ Km	VF	Frequência de voz
3 - 30 KHz	$10^2 - 10$ Km	VLF	Ondas muito longas
30 - 300KHz	10 - 1 Km	LF	Ondas longas
300 - 3000 KHz	1000 - 100 m	MF	Ondas médias
3 - 30 MHz	100 - 10 m	HF	Ondas curtas
30 - 300 MHz	10 - 1 m	VHF	Ondas muito curtas
300 - 3000 MHz	100 - 10 cm	UHF	Microondas
3 - 30 GHz	10 - 1 cm	SHF	Microondas
30 - 300 GHz	10 - 1 mm	EHF	Microondas
300 - 3000 GHz	1 - 0,1 mm	Não possui	-
3 - 375 THz	100 - 0,8 μ m	Infravermelho	Comunicações ópticas
375 - 790 THz	0,8 - 0,38 μ m	Luz visível	-
790 - 22.500 THz	380 - 13,3 nm	Ultravioleta	-

Fonte: Próprios autores (2014)

A Resolução 303/2002 da ANATEL, regulamenta sobre limitação de exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz. Nesta é exigido que os projetos de rádio enlace (ponto a ponto, ponto multiponto, *broadcasting*, etc.) atendam a determinados limites, considerando-se todo o intervalo de frequência avaliado e não somente os novos equipamentos a serem implantados. Para estações já existentes foram estabelecidos prazos para suas adequações. Em ambos os casos é exigida a emissão de relatório de conformidade, por profissional habilitado.

4 Revisão de literatura

4.1 Normas de exposição

O primeiro esforço significativo para estabelecer limites internacionais de exposição à Radiação Não Ionizante (RNI) foi feito pela *International Radiation Protection Association* (IRPA), que formou um grupo de trabalho sobre RNI para examinar as questões de radioproteção. Em 1977, esse grupo de trabalho tornou-se o *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP). Dentro do programa da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre Saúde Ambiental, a IRPA e o ICNIRP desenvolveram vários critérios de saúde ambiental (*Environmental*

Health Criteria - EHC) e documentos sobre RNI, cada um dos quais incluía diversos resumos das características físicas, medição e instrumentação, origens e aplicações da RNI, uma ampla revisão da literatura sobre efeitos biológicos, e uma avaliação dos riscos para a saúde da exposição a RNI. Esses EHCs forneceram a base de dados científicos para o desenvolvimento posterior dos limites de exposição e códigos de boas práticas relativas à proteção da exposição às RNIs (LASR, 2010).

As diversas normas internacionais que tratam da exposição a campos eletromagnéticos, seja em níveis ocupacionais ou para o público em geral, recomendam valores muito próximos entre si (ANATEL, 2002; IEEE, 1992; EC, 1999). Especificamente para a frequência em estudo neste trabalho (1.875 GHz), os valores de referência para o público em geral, conforme as normas ANATEL, ICNIRP, EC e IEEE são os apresentados a seguir:

Campo Elétrico: 61 V/m

Campo Magnético: 0.16 A/m

Densidade de Potência: 10 W/m²

4.2 Efeitos sobre o corpo humano

Na literatura encontramos dois efeitos sobre a interação de CEM que são definidas como efeito direto e indireto. De acordo com a ANATEL (2007) os efeitos diretos resultam da interação direta de campos com o corpo humano e os efeitos indiretos envolvem interações com um objeto a um potencial elétrico diferente do corpo.

O efeito direto mais comum, na faixa da Radio Frequência (RF) é o calor gerado por conversão, atingindo profundamente as camadas tissulares promovendo a oxigenação, nutrição e vasodilatação dos tecidos de acordo com estudos voltados para medicina. (CARVALHO et al., 2013).

A OMS (2006) diz que

uma preocupação comum em relação às estações rádio base e as antenas das redes sem fio, diz respeito aos efeitos à saúde que possam advir da exposição de longo prazo do corpo aos sinais de RF. Até o momento, o único efeito à saúde causado pelos campos RF, identificado pelas revisões científicas, relaciona-se ao aumento na temperatura corporal (>1°C) devido a exposição a intensidades muito altas de campo, que se encontra apenas em certas instalações industriais que utilizam aquecedores RF. Os níveis de exposição de RF a partir das Estações Rádio Base (ERBs) e de redes sem fio são tão baixos que os aumentos de temperatura são insignificantes e insuficientes para afetar a saúde humana.

e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) afirma:

Ao estabelecer os limites de exposição, a Comissão reconheceu a necessidade de reconciliar diferentes opiniões de especialistas. Tem que se considerar a validade de relatórios científicos e tem que se extrapolar experiências com animais, para efeitos nas pessoas. As restrições incluídas nestas diretrizes foram baseadas somente em dados científicos; entretanto, o conhecimento atualmente disponível, indica que estas restrições propiciam um nível adequado de proteção contra a exposição a CEM variáveis no tempo.

Em decorrência dos fatores citados acima, bem como para garantir a proteção da saúde e do meio ambiente em todo o território brasileiro, a Lei 11.934 de 5 de Maio de 2009 estabeleceu que sejam adotados os limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde - OMS para a exposição ocupacional e da população em geral a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos gerados por estações transmissoras de radiocomunicação, por terminais de usuário e por sistemas de energia elétrica que operam na faixa até 300 GHz.

Vale resaltar ainda que “pesquisas recentes indicaram que as exposições a RF, advindas das ERBs e das tecnologias sem fio, em áreas acessíveis ao público (inclusive escolas e hospitais) estão normalmente milhares de vezes abaixo dos padrões internacionais” e que “a intensidade dos campos de RF é maior na fonte emissora, e diminui rapidamente com a distância” (OMS, 2006).

Quanto à indução de câncer pela exposição de longa duração a CEM, não foi considerada estabelecida. Por essa razão, as diretrizes estabelecidas pela ANATEL são baseadas em efeitos na saúde de caráter imediato, em curto prazo, tais como estimulação dos nervos periféricos e músculos, choques e queimaduras causadas por tocar em objetos condutores, e elevação de temperatura nos tecidos, resultante da absorção de energia durante exposição a CEM. No caso dos efeitos potenciais da exposição em longo prazo, tais como aumento de risco de câncer, a *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) concluiu que os dados disponíveis são insuficientes para prover uma base para fixar restrições à exposição, embora pesquisas epidemiológicas tenham produzido evidências sugestivas, mas não convincentes, de uma associação entre possíveis efeitos carcinogênicos e a exposição à densidade de fluxo magnético de 50/60 Hz em níveis substancialmente inferiores aos recomendados nessas diretrizes. (ANATEL, 2007).

Porém pode-se ressaltar que existem casos como o da ONG francesa “CRIIREM – *Centre de Recherche d’Informations Indépendantes sur les Rayonnements ElectroMagnétiques*” que, evocando o princípio da precaução, reivindicou uma moratória sobre as ondas de Wi-Fi e conseguiu que a Prefeitura de Paris desligasse o Wi-Fi em várias bibliotecas municipais pela alegação das possíveis interferências à saúde humana causadas pela produção de CEM das redes de Wi-Fi (GOMIDE apud ENVIRO2B, 2008).

4.3 Principais características das antenas

Quanto à instalação existem basicamente dois tipos de ERB, comumente chamadas de *Ground Base Tower (GBT)* – aquelas que são instaladas em terrenos, ou seja, no solo e *Roof Top* – aquelas instaladas em pavimentos de cobertura de edifícios. Essas estações abrigam antenas concentradas em painéis.

As antenas são elementos que transformam energia eletromagnética confinada em energia eletromagnética irradiada, possibilitando a propagação das ondas eletromagnéticas geradas por transmissores. Uma configuração simples para antenas de ERBs é apresentada na Figura 2, que mostra um conjunto de quatro dipolos com polarização vertical (WOJCIK, 2003).

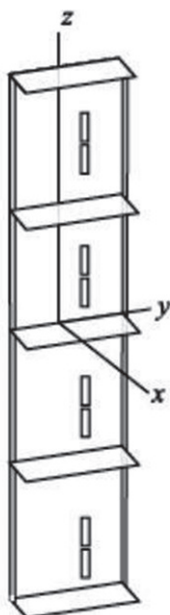


Figura 2: Painel com 4 antenas dipolo
 Fonte: Wojcik (2003 Adaptado pelo autor, 2014)

| 162 | Atualmente a maioria das antenas utiliza polarização cruzada com ângulo de 45° (Figura 3) entre dipolos com o objetivo de evitar propagação por caminhos diversos (*multi path propagation*) e melhorar a qualidade do sinal recebido (KABOLI et al., 2012).

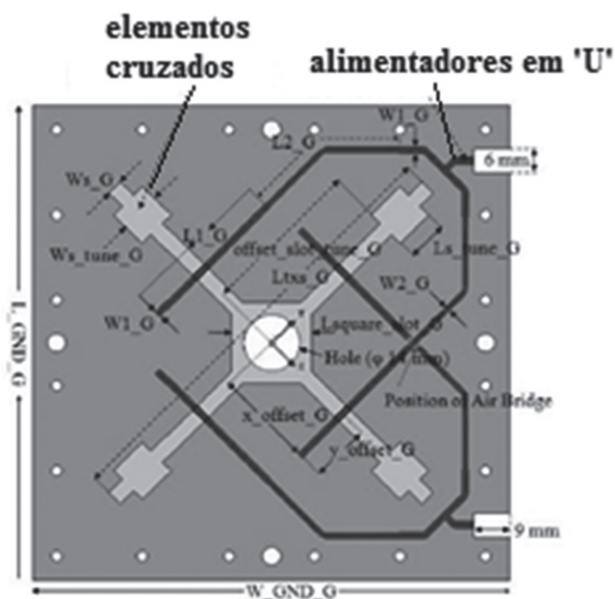


Figura 3: Antena com polarização cruzada
 Fonte: Kaboli et al. (2012) adaptado pelo autor, 2014)

Sob o ponto de vista da Engenharia Ambiental, as características mais significativas das antenas são aquelas que dizem respeito à concentração do campo eletromagnético irradiado que colocam na sua área de influência pessoas e o meio ambiente de forma geral.

Sob esse ponto de vista, são características principais das antenas:

- Diagrama de Irradiação, que exprime a forma com que o sinal de uma antena é dirigido para uma determinada direção. Uma antena com diretividade muito grande irradia um feixe bastante concentrado. O diagrama de irradiação possui efetivamente características tridimensionais, mas costuma ser representado por suas projeções horizontal e vertical. Exemplos de diagramas típicos para antenas GSM (padrão da maioria dos sistemas de comunicação celular) são mostrados na Figura 4. O padrão mais importante para avaliação da exposição ao campo eletromagnético produzido por antenas elevadas instaladas em torres e com grande área de cobertura, como no presente estudo, é o padrão de irradiação vertical (SINGH, 2012).

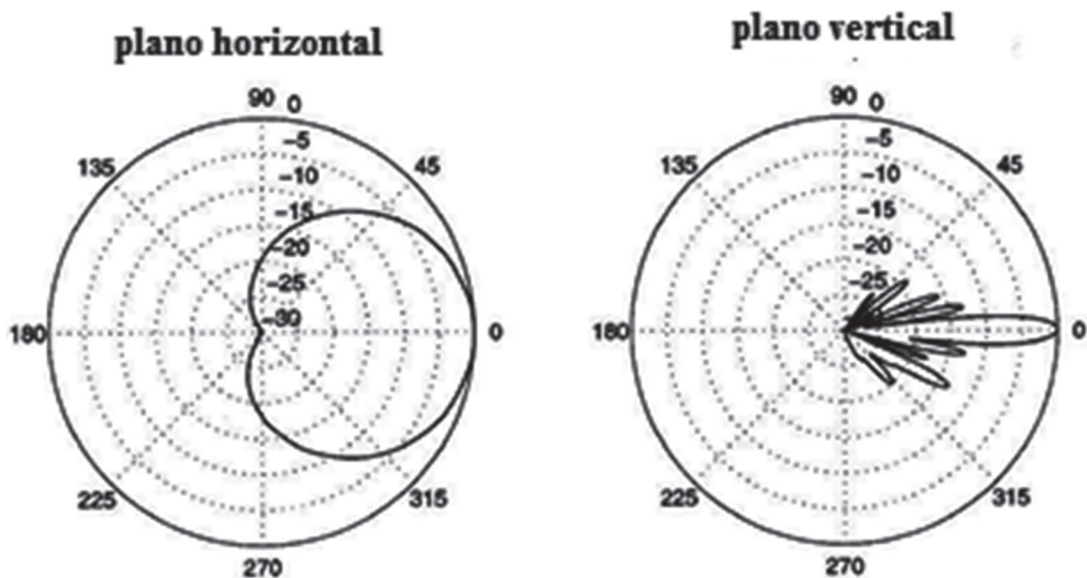


Figura 4: Diagrama de Irradiação Típicos para Antenas GSM

Fonte: Blanch et al. (2002 adaptado pelo,(2014)

- Ganho. Uma antena é um elemento passivo e que, portanto, não possui amplificação. No entanto, quanto mais concentrado o feixe de irradiação, maior seu alcance útil. A partir daí define-se o ganho de uma antena comparando-se a potência máxima que a antena consegue entregar em um ponto com a potência que uma antena de referência — normalmente isotrópica, que irradia igualmente em todas as direções — entregaria no mesmo ponto.
- *Tilt* elétrico. Em telefonia celular são muito utilizadas antenas que irradiam a radiofrequência ligeiramente para baixo levando em consideração o plano horizontal. Essa inclinação em inglês é chamada de *tilt*.

5 Radiofrequência e Estações Rádio Base em Ambientes Urbanos

Como foi visto anteriormente, a preocupação com a irradiação de campos eletromagnéticos em ambientes urbanos surgiu, a princípio, por iniciativa de agências governamentais. Nos anos de 1970-1990, o assunto foi tratado considerando os aspectos regulatórios quanto à saúde pública. Enquadra-se nessa fase o levantamento das radiações não ionizantes na área metropolitana de Nova York (EPA, 1977). Normas são estabelecidas no período 1990-2000 (IEEE 1992, FCC 1996, Itália 1998, União Europeia 1999, Suíça 1999) e a partir de então se verifica um padrão de desenvolvimento na literatura que passa a contar cada vez com trabalhos acadêmicos, inicialmente tratando de emissões de rádio frequência, de uma forma geral (SIMUNIC, 2006; BURCH et al., 2006; AKINTONWA et al., 2008; YLLI et al., 2010) e como consequência do crescimento exponencial das comunicações móveis por celular, trabalhos mais recentes procuram evidenciar seu efeito no ambiente urbano, antrópico (LAVIADA et al., 2010; SINIK et al., 2011).

Sob o ponto de vista da Engenharia Ambiental, a investigação continuada do assunto é conveniente, inclusive por força de norma legal visto que o conceito de poluição eletromagnética também se enquadra perfeitamente no conceito de poluição previsto no artigo 3º, inciso III, da Lei 6.938/81 (Lei da Política Nacional de Meio Ambiente). Entende-se por poluição eletromagnética o lançamento ou a liberação de energia (radiação), em intensidade e quantidade tais que possam tornar o ar impróprio ou ofensivo à saúde e possam ser inconvenientes ao bem-estar público ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Com vistas ao ambiente antrópico, a Engenharia Ambiental também pode contribuir com a definição de condições de instalação desses equipamentos urbanos, em princípio regulados pela ANATEL dada a Lei 9.472, de 16.07.97 (Lei Geral das Telecomunicações), que regulamenta a exploração desses serviços e cria o órgão regulador para o setor. De acordo com o artigo 19 inciso XI da mencionada lei, compete à Anatel expedir e cassar autorização para prestação de serviço móvel celular; fiscalizar, aplicar sanções, além de possuir a competência de “expedir normas e padrões a serem cumpridos pelas prestadoras de serviços de telecomunicações quanto aos equipamentos que utilizarem” e, ainda, “expedir ou reconhecer a certificação de produtos, observados os padrões e normas por ela estabelecidos”. Não obstante, “no âmbito municipal, conforme estabelecido em cada cidade, muitas vezes há necessidade do licenciamento quanto aos aspectos urbanísticos e de localização geográfica da estação” o que frequentemente implica na ocorrência de conflitos, visto que “com o número de estações aumentando consideravelmente, começaram a surgir reações da população quanto à localização de torres, à alteração provocada na paisagem urbana e aos aspectos relacionados à segurança e à saúde humana” (ALMEIDA et al., 2006).

6 Estudo de Caso

Tomou-se como estudo de caso as instalações da ERB localizada no Instituto Federal Fluminense (IFF) – *campus* Macaé, cuja localização é apresentada nas Figuras 5 e 6.

De acordo com os dados da ANATEL, a estação rádio base em questão localiza-se no município de Macaé – RJ, mais precisamente no logradouro Estrada Municipal, S/N, bairro Imboacica, sobre as seguintes coordenadas:

Lat.: -22.406019°

Long.: -41.843398°

ou em UTM (Universal Transverse Mercator)

24k

Lat. UTM: 7519461.00 mS

Long. UTM: 207259.00mE



Figura 5: Localização do IFF onde está localizada a Estação Rádio Base Estudada

Fonte: Google Maps (2014)



Figura 6: Localização da Estação Rádio Base Estudada dentro do campus

Fonte: Google Maps (2014)

7 Materiais e Métodos

Para realização das medições foi utilizado o analisador de espectro eletromagnético MS2712E Spectrum Master, fabricado pela empresa ANRITSU (Figura 7). Esse aparelho é de fundamental importância para os trabalhos com Estações Rádio Base, pois foi projetado para transporte em campo, o que difere de muitos aparelhos utilizados em trabalhos científicos que normalmente são analisadores projetados para trabalho fixo em laboratório.



| 166 |

Figura 7: Analisador de Espectro

Fonte: O próprio autor (2014)

Em virtude dessa portabilidade fica mais fácil fazer uma avaliação real em maior área de abrangência e com maior precisão espacial dos valores coletados. Para isso contamos com o uso da antena de GPS acoplada (Figura 8). Essa é uma ferramenta suporte do referido analisador espectral capaz de captar a informação geográfica do ponto coletado dando assim informações espaciais, necessárias, dos pontos coletados para confecção de mapas de intensidade.



Figura 8: Antena GPS do MS2712E

Fonte: O próprio autor (2014)

Para o correto funcionamento do MS2712E são necessários vários tipos de antenas que variam de acordo com o tipo de trabalho a ser realizado e a faixa na qual se deseja avaliar o espectro (Figura 9).

| 167 |

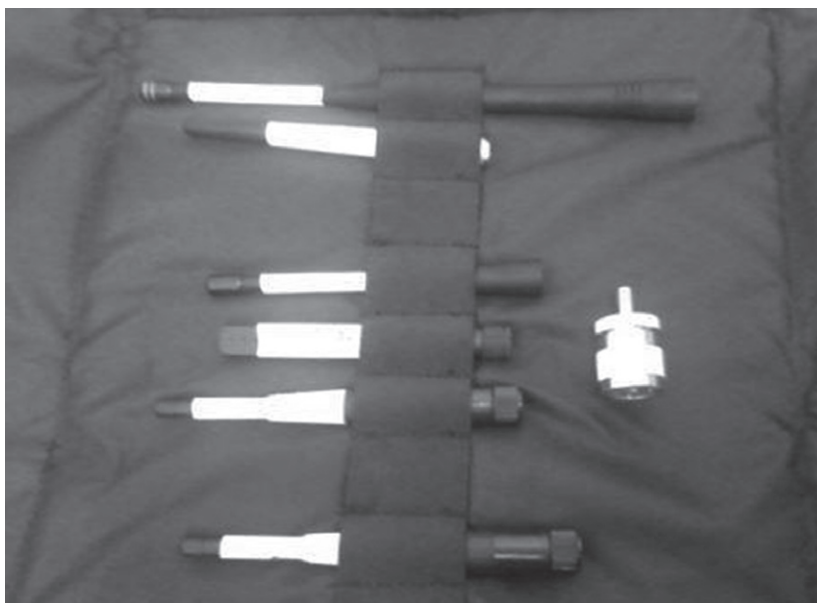


Figura 9: Conjunto de Antenas de Medição

Fonte: O próprio autor (2014)

Para um melhor aproveitamento do MS2712E foi utilizado um computador portátil que serviu na orientação dos dados coletados *in situ*.

Como procedimento de coleta, foram executadas diversas rotas de medição dentro do *campus* do IFF Macaé e no perímetro externo, conforme ilustrado na Figura 10.

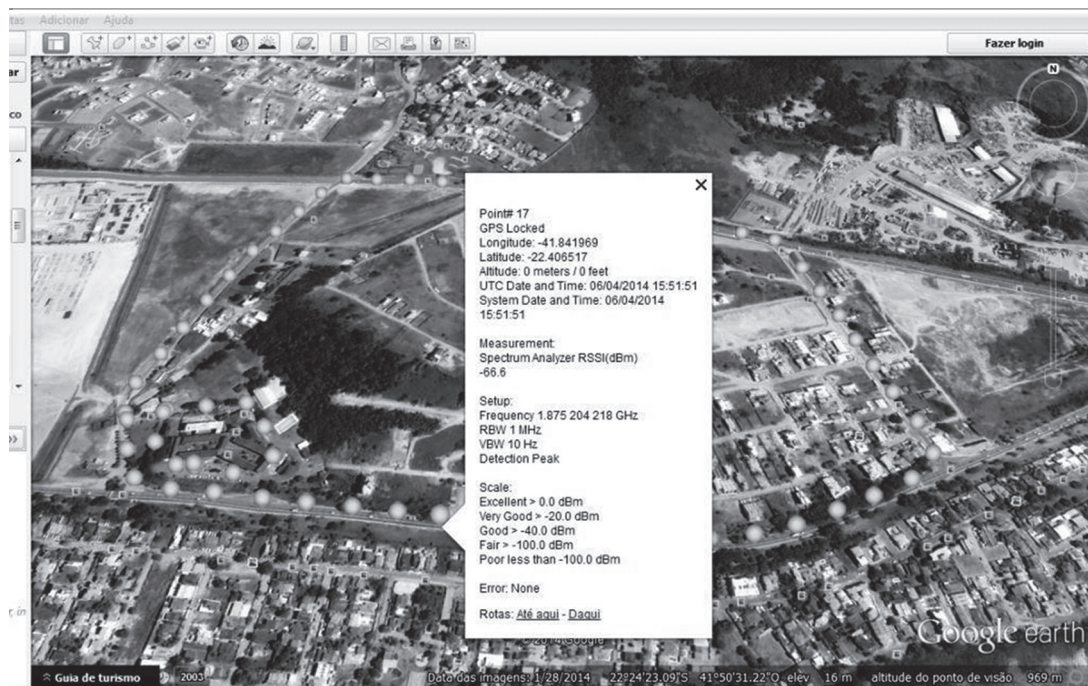


Figura 10: Rotas de medição no entorno do campus do IFF

Fonte: O próprio autor (2014)

8 Resultados e Discussão

Inicialmente, foram feitos diversos testes para identificação da frequência piloto da ERB, sendo identificada a frequência de 1.875 GHz, sendo esse o canal no qual foram tomadas as medições. O analisador de espectro registra a potência média no canal indicado para o sinal GSM na unidade dBm, na qual a potência é calculada em relação à referência de 1 mW.

No decorrer de oito trabalhos de campo registrando medições, os maiores valores de potência foram registrados na medição mostrada na Figura 11.

O valor máximo registrado com uma sonda de aproximadamente 1,0 cm² de área foi de -73 dBm. Convertendo-se esse valor para Watts e calculando a densidade de potência equivalente, temos um valor de $S = 1,26 \times 10^{-7}$ W/m², bem inferiores aos limiares de segurança estabelecidos pelas normas e que mostram bastante proximidade com levantamentos feitos para ERBs na cidade do Rio de Janeiro (DIAS et al., 2006). Também mostram coerência com a estimativa publicada pelo ICNIRP (ICNIRP, 2009) de que a exposição de usuários comuns aos níveis de potência irradiada por ERBs fica próximo de 1/10.000 do valor de referência.

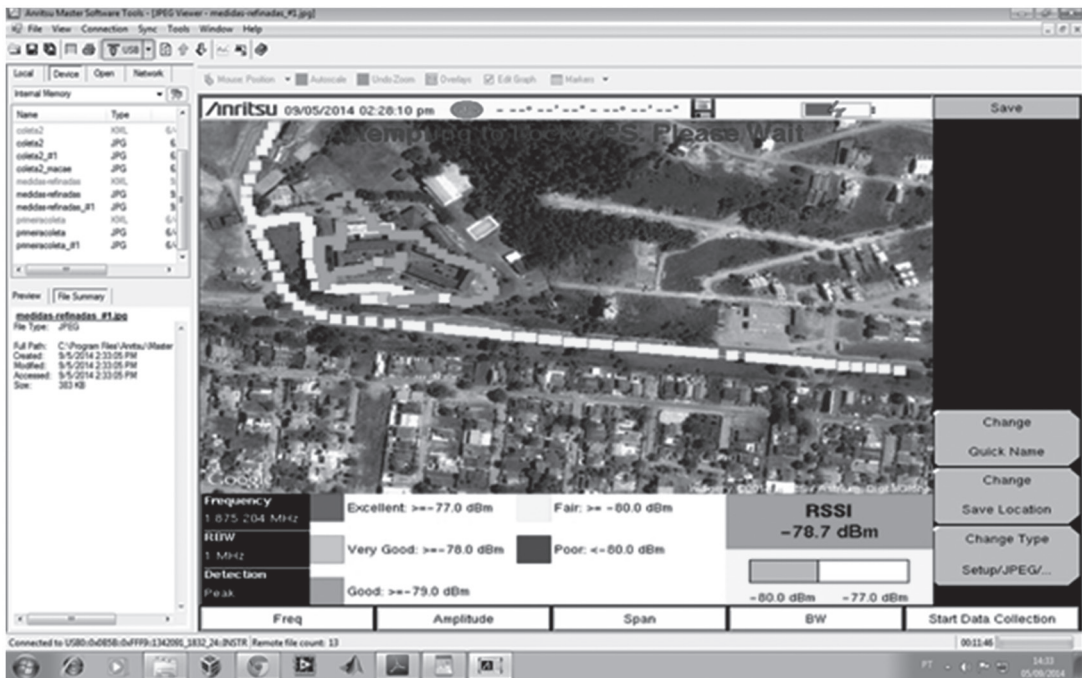


Figura 11 – Maior potência detectada em uma rota no entorno do campus

Fonte: O próprio autor (2014)

Embora os resultados sejam tranquilizadores, quando comparados com as referências estabelecidas pelas normas, alguns pontos devem ser ressaltados no que concerne à avaliação de segurança nas proximidades de ERBs. Deve-se considerar que na prática uma instalação isolada como a estudada não é mais um caso típico, visto que a concorrência por localização adequada produz concentração de diferentes operadoras / frequências / tecnologias em pontos privilegiados do espaço urbano. Tal situação é prevista pelas diversas normas, que determinam cálculos específicos para múltipla exposição.

Outro ponto de interesse da Engenharia Ambiental é a exposição ocupacional de trabalhadores nas proximidades das instalações e a exposição de ocupantes de uma instalação que tenha uma ERB do tipo *Roof Top* sobre ela.

9 Conclusões

De posse das informações levantadas no decorrer da pesquisa fica claro que são vários os possíveis problemas que podem ser gerados pelas diversas formas de emissão dos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, e essas dificuldades vêm chamando cada vez mais as atenções dos profissionais da área em diversas localidades do mundo. A OMS estabelece uma

agenda específica de pesquisas necessárias na área (OMS, 2010), fato que justifica sua inclusão na área de interesse da Engenharia Ambiental, mais especificamente no que diz respeito ao meio ambiente urbano.

As normas preconizam extensas e detalhadas medições para assegurar a conformidade, assim como cálculos analíticos que são questionados na literatura (BALDAUF et al., 2007, CASAVOLA et al., 2002; LAVIADA et al., 2010; SINGH, 2012). Esses fatos apontam a pertinência de pesquisas sobre métodos numéricos aplicáveis nessa estimativa de campos eletromagnéticos.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro na aquisição do Software e o Analisador espectrômetro MS2712E.

Referências

- | 170 | ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Resolução n.º 303, de 2 de julho de 2002. Regulamento Sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa De Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz. *DOU de 10 de julho de 2002*.
- BRASIL. *Lei 11.934/2009*. Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.
- BRASIL. *Lei n.º 6938/81*. Lei de Crimes Ambientais. 1981.
- AKINTONWA, A.; BUSARI, A.; AWODELE, O.; OLAYEMI, S. O. The Hazards of Non-Ionizing Radiation of Telecommunication Mast in an Urban Area of Lagos, Nigeria. *African Journal of Biomedical Research*, v. 12, n. 1, January 2009.
- ALMEIDA, A.; NEVES, L.C.; RIBAS, G.; TENTI, E.; FERREIRA e SILVA, C.; MORAES, R.V. Controle e gestão de radiações não ionizantes produzidas pelo sistema de telecomunicações: uma abordagem inovadora. *Cadernos CPqD Tecnologia*, Campinas, v. 1, n. 1, p. 71-84, jan./dez. 2005
- BALDAUF, M.; KNÖRTZER, S.; PONTES, J.; WIESBECK, W. Safety Distances Underneath Vertically Polarized Base Station Antennas. In: INT. ZURICH SYMPOSIUM ON EMC, 18., 2007, Munich. Proceedings...
- BALMORI, A. Electromagnetic Pollution from Phone Masts. Effects on Wildlife. *Pathophysiology*, v 16, p. 191-199, 2009.

BLANCH, S.; ROMEU, J. Near Field in the Vicinity of Wireless Base-Station Antennas: An Exposure Compliance Approach. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, v. 50, n. 5, May 2002.

BURCH, J.; CLARK, M.; YOST, M.; FITZPATRICK, C.; BACHAND, A.; RAMAPRASAD, J.; REIF, J. Radio Frequency Nonionizing Radiation in a Community Exposed to Radio and Television Broadcasting. *Environmental Health Perspectives*. v. 114, n. 2, February 2006.

CARVALHO, G. F.; SILVA, R. M. V. Avaliação dos efeitos da radiofrequência no tecido conjuntivo. *Revista Brasileira de Medicina*, v. 68, 2011.

CASAVOLA, L.; ZIYYAT, A.; PICARD, D.; BOLOMEY, J. Rapid evaluation of electric and magnetic field radiated by base station antennas for cellular communication. In: . XXVIIth GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF RADIO SCIENCE, 27., August 2002, Maastricht, Netherlands. Proceedings...

DIAS, M.; VIEIRA, R.; SIQUEIRA, G.L. Verificação do Nível de Irradiação das Estações Rádio Base. *Artigo Técnico da ABRICEM*. Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética. Disponível em: <www.abricem.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2014.

EC. EUROPEAN COMMUNITY. Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz). *Official Journal of the European Community*, L199/S9.

EPA. Environmental Protection Agency. Nonionizing Radiation on New York Metropolitan Area. *EPA Report 902/4-78-007*. | 171 |

FELICE, F. *Análise do desempenho de enlaces ponto-a-ponto utilizando a faixa de frequência não licenciada de 2,4GHz em tecnologia spread spectrum*. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Elétrica Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005. 148 p.

GENÇ, O.; BAYRAK, M.; YALDUZ, E. Analysis of the Effects of GSM Bands to the Electromagnetic Pollution in the RF Spectrum. *PIER Progress in Electromagnetic Research*, v. 101, p 17-32, 2010.

GOMIDE, J.R.M.R. *Radiações Eletromagnéticas não ionizantes em Unidades de Conservação da Natureza: Diagnóstico, Proposta para Mapeamento, Avaliações de Riscos e Licenciamento Ambiental*. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais) - UFJF, 2008.

ICNIRP. ICNIRP Statement on the Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Phys.*, Germany, v. 97, p. 257-258, 2009.

IEEE. *Standard for safety levels with respect to human exposure to radio-frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz* (IEEE C95.1-1991). New York, 1992.

KABOLI, M.; ABRISHAMIAN, M.; MIRTAHERI, S.; ABOUTORAB, S. High-Isolation XX-Polar

Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, v. 60, n. 9, September 2012.

LASR. *Revisão Científica Latino Americana Campos Eletromagnéticos de Alta Frequência e Saúde Humana*. Disponível em: <<http://www.wireless-health.org.br/downloads/LASR2010-PadrosPolíticasProtecao-Port.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

LAVIADA, J.; ALVAREZ-LOPEZ, Y.; LAS-HERAS, F. Efficient Determination of the Near-Field in the Vicinity of an Antenna for the estimation of its Safety Perimeter. *Progress In Electromagnetics Research, PIER*, v. 103, p. 371-391, 2010.

MILLS, W.A.; TELL, R.A.; JANES, D.E.; HODGE, D.M. Nonionizing Radiation on the Environment. In: ANNUAL CONFERENCE ON RADIATION CONTROL, 3., 1971. US DHEW Publication (FDA), 1971. p. 200-211. *Proceedings...*

OMS. Organização Mundial de Saúde. Departamento de Proteção ao Ambiente Humano. *Estabelecendo um Diálogo sobre Riscos de Campos Eletromagnéticos*. Genebra, Suíça, 2002.

OMS. Organização Mundial de Saúde. Campos Eletromagnéticos e Saúde Pública, Estações Rádio Base e Tecnologia Sem Fio. *Fact Sheet*, v. 304, maio 2006.

OMS. Organização Mundial de Saúde. *WHO research agenda for radiofrequency fields*. Genebra, Suíça, 2010.

| 172 | ŠIMUNIĆ, D. Non-Ionising Radiation Human Exposure Assessment Near Telecommunication Devices in Croatia. In: SYMPOSIUM OF THE CROATIAN RADIATION PROTECTION ASSOCIATION WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION, 6., 18-20 April 2006, StubickeToplice, Croatia.

SINGH, R.K. Assessment of Electromagnetic Radiation from Base Station Antennas. *Indian Journal of Radio and Space Physics*, v.41, p. 557-565, October 2012.

SINIK, V.; JANCOSKI, S.; DESPOTOVIC, Z. Exposure of Humans to Electromagnetic Fields. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ECOLOGY OF URBAN AREAS, 1., 30 September 2011, Zrenjanin, Serbia.

TELL, R.A. Environmental Nonionizing Radiation Exposure: A Preliminary Analyses of the Problem and Continuous Work within EPA. *Environmental Exposure to Nonionizing Radiation*, US EPA Publication EPA/ORP 73-2, p. 48-68, 1973.

YUPING, D.; SHUNHUA, L.; HONGTAO, G. Investigation of Electrical Conductivity and Electromagnetic Shielding Effectiveness of Polyaniline Composite. *Science and Technology of Advanced Materials*, v. 6, p. 513-518, 2005.

WOJCIK, D. Evaluation of Near Field of the GSM Base Station Antennas on Urban Environment. *Journal of Telecommunications and Information Technology*, v.1, 2003.

YLLI, F.; KARABETSOS, E.; DOLLANI, K.; KOUTOUNIDIS, D. Non-Ionizing Radiation: Evaluation of General Public's Exposures in Greece and Albania. In: AIP CONFERENCE, 2010. *Proceedings...*