Os Riscos da Telefonia Móvel e o Princípio da Precaução

A. A. de Salles e C. R. Fernández

Depto. de Eng. Elétrica, UFRGS, Av. Osvaldo Aranha 103, Porto Alegre, 90.035-190, RS

Resumo — Neste trabalho são revisados os principais efeitos biológicos das radiações não ionizantes (RNI) incluindo os efeitos térmicos e os não térmicos, e são discutidas sucintamente as principais normas nacionais e internacionais disponíveis que limitam a exposição dos seres humanos (trabalhadores e população em geral) a estas radiações. A seguir são resumidas as estimativas teóricas e as medidas para os campos eletromagnéticos irradiados por Estações de Rádio Base (ERBs) típicas, e estes resultados são comparados com aquelas normas. São também mostrados resultados da simulação da taxa de absorção específica (SAR) na cabeça dos usuários de telefones móveis quando antenas convencionais (tipo monopolo) e quando antenas diretivas (planares) são utilizadas, tanto para adultos como para crianças. Finalmente, observa-se que mesmo as normas mais restritivas (considerando o Princípio da Precaução), podem ser obedecidas pelas ERBs mantendo-se boa qualidade no sistema, e que as antenas diretivas podem ser utilizadas em uma nova geração de telefones móveis, resultando em uma alternativa conveniente para melhorar o desempenho destes transceptores, reduzindo também os riscos à saúde dos usuários.

1

Palavras-chaves: Efeitos Biológicos das Radiações Não Ionizantes, Estações de Rádio Base, Telefonia Móvel, Telefonia Celular, Antenas Planares, Princípio da Precaução.

Abstract - There has been a dramatic increase in the use of mobile phone technology in the last decades, with widespread benefits in many professional and private activities. In parallel with this, the concern regarding the possibility of adverse health effects due to the absorption of electromagnetic fields by humans also increased. For several years, many research groups in different countries were developing research projects on these subjects in the areas of medicine, biophysics, engineering, etc. Also, the World Health Organization (WHO) has coordinate efforts including many countries to access the existing scientific evidence of harmful health effects of non ionizing radiation (NIR) emitted from different communication equipment, such as the mobile phones and their base stations, with special emphasis to the non-thermal effects. In principle, the base stations radiate more energy. However, their antennas are usually located on the top of elevated towers (or masts) and the radiated energy is mainly concentrated in the horizontal direction. Therefore people are usually far from these antennas, and also in directions reasonably apart from those of maximum radiation. Because the conventional monopole (or whip) antennas being used now in mobile phones typically show a circular radiation pattern in the horizontal plane, they may radiate substantial levels of energy in almost all directions, very close to the body and during considerable time. It is observed that when they are operated very close to the user's head (e.g., 2,5 cm or less), most of energy is absorbed in the head tissues (such as the bone, the brain, eye, etc), and less energy is radiated to the nearest base station. This situation is undesirable since quality of communication is worse, and the Specific Absorption Rate (SAR) in the user's head and the battery drain are increased.

In this work the thermal and the non-thermal effects of the non-ionizing radiation (NIR) are briefly described. Then the typical base station radiated fields are estimated and compared to the available recommendations limiting human exposure to NIR. The specific absorption rate (SAR) in the head of mobile phone users is simulated using the Finite Difference Time Domain (FDTD) method in three dimensions (3 D) when conventional monopole and planar antennas are employed. The performance simulation of microstrip rectangular patch antennas, as well as its predicted and measured results are presented. An algorithm based in 3D FDTD is developed to model the radiation pattern in the horizontal plane and the electric field in the Fresnel region. Measured horizontal radiation pattern is shown. It can be seen that there is a strong correlation between the measured and the FDTD simulated results when the ground plane is finite and when it is not effectively grounded. This type of antenna may be of great interest in new generation of mobile phones, improving its performance, reducing the battery drain and the SAR in the user's head. The new generation (e.g. 2.5 G and 3 G) of cellular phones, including services of message, voice, data,

Periódico Tchê Química, Porto Alegre: Grupo Tchê Química v. 2, n.4, Ago. 2005

¹A. A. de Salles, <u>aasalles@vortex.ufrgs.br</u>, Tel. + 55-51-33163517, Fax + 55-51-33163293, C. R. Fernández, <u>fdez@iee.ufrgs.br</u>, Tel. + 55-51-33163300.

video, etc., will transmit higher data rates and may require higher transmitted power. This would result in greater risk for the cellular phone user unless alternatives such as directive antennas were employed. Hence it is expected that these antennas, simple, compact and adequate for the integration with the cellular phone structure, with low cost and reasonable performance would perform an important function in the next generation of cellular phones. It is important to remark that the usual guidelines used for the human exposition limitations (e.g., ICNIRP/CENELEC, IEEE/ANSI) only consider the thermal effects of the non ionizing radiation. If the non-thermal effects became definitely demonstrated, then the exposition limits will have to be substantially reduced. Therefore alternatives such as the planar antennas for mobile phones would become more relevant. The results are discussed referring to the Precautionary Principle. It is observed that in the case of typical base stations, the estimated and measured fields are usually bellow the limits, even when compared to the more restrictive recommendations, with a good quality of communication. Also, the benefits of the directional antennas use in new generation of mobile phones are discussed. Finally, the spread use of mobile phones by the children and the young people is considered. These, for different reasons, are more susceptible than the adults.

Key Words: Biological effects, Mobile Communications, Base Stations, Mobile Phones, FDTD – Finite Difference Time Domain, Planar Antennas.

I. Introducão

Os telefones celulares tornaram-se parte essencial de nossas vidas atualmente. Boa parte das pessoas não pode viver sem estes aparelhos, todos são estimulados a tê-los, mesmo nossas crianças. As Estações de Rádio Base — ERBs estão sendo rapidamente instaladas antes que estudos de impactos à saúde, ambiental, urbanístico e arquitetônico sejam realizados. Muitas pessoas assumem que porque os telefones celulares são essenciais e de uso generalizado, eles devem seguros. Os resultados das pesquisas científicas independentes nas áreas biomédicas mostrando os efeitos danosos à saúde são muitas vezes preliminarmente desconsiderados. Os fabricantes e as operadoras de telefonia móvel sistematicamente reagem com desdém quando as preocupações da comunidade científica e da população são manifestadas, adotando práticas de desinformação deliberada em relação aos potenciais riscos à saúde. As autoridades públicas responsáveis se omitem, e a grande imprensa se beneficia das polpudas contas publicitárias deste que é um dos negócios mais rentáveis na atualidade.

Até o final de 2005 estima-se oficialmente que deverão existir mais de 2 bilhões de terminais móveis em utilização em todo o mundo, e mais que 80 milhões no Brasil. Em paralelo com este pujante crescimento dos sistemas móveis, tem crescido também a preocupação, especialmente da população e da comunidade científica, em relação aos riscos à saúde que esta tecnologia pode representar. Esta preocupação é motivada essencialmente pelas incertezas científicas, especialmente em relação aos "efeitos não térmicos" da absorção das radiações não ionizantes (RNI) nos seres humanos. Os "efeitos térmicos" já são há muitas décadas bem conhecidos, e são os considerados nas normas mais difundidas que limitam a exposição aos campos eletromagnéticos não ionizantes. Entretanto, sobre os efeitos não térmicos ainda existem certas polêmicas na comunidade científica, ainda que muitos destes já tenham sido repetidamente comprovados em experimentos com cobaias e "in vitro", e reportados em revistas científicas de credibilidade reconhecida.

No caso das comunicações móveis, em virtude de sua grande disseminação nas últimas décadas, as preocupações têm se concentrado especialmente em relação aos dois tipos de transmissores, tanto os fixos (freqüentemente chamados de Estações de Rádio Base – ERBs), bem como os móveis (p.ex., os telefones celulares). Ambos os aspectos merecem a maior atenção e

consideração. Via de regra as ERBs emitem potências substancialmente maiores que os telefones móveis, mas como normalmente as pessoas estão razoavelmente afastadas das antenas das ERBs (p. ex., mais que 50 ou 100 metros, em sua direção de maior irradiação), a taxa de absorção específica (SAR - "Specific Absorption Rate") calculada em qualquer região do corpo em situações típicas, resulta em valores substancialmente abaixo dos limites das normas mais difundidas, especialmente aquelas que consideram somente os efeitos térmicos. Entretanto, na maioria dos casos práticos, também são respeitados os limites de normas mais restritivas, que consideram em parte o Princípio da Precaução (PP). Por outro lado, para o caso dos telefones móveis, observa-se que a SAR calculada na cabeça dos usuários dos aparelhos que utilizam as antenas tipo monopolo convencionais, na condição normal de uso, é significativamente maior que os limites das normas, mesmo daquelas que consideram somente os efeitos térmicos [Bernardi et al., 2001; Iskander et al., 2000; Jensen and Rahmat-Samii, 1995; Salles et al., 2001].

Obviamente, se fossem considerados também os efeitos não térmicos, a situação então seria muito mais crítica para os usuários destes telefones móveis. O problema é que as antenas convencionais (tipo monopolo) irradiam de forma quase simétrica em um plano perpendicular a elas. Então, na condição normal de uso, quando estas antenas são operadas muito próximas à cabeça (p.ex., 2,5 cm ou menos), a maior parte da energia irradiada é absorvida na cabeça (p.ex., nos tecidos do cérebro, etc.), e uma parcela menor de potência é irradiada no sentido da ERB com a qual está se comunicando. Então se perde em qualidade de comunicação, a potência emitida é automaticamente ajustada para níveis mais elevados, o que resulta em maior consumo da bateria e maior risco à saúde dos usuários.

Uma alternativa eficaz para contornar este problema é o uso de antenas planares de moderada diretividade. A utilização destas antenas em transceptores móveis (como nos telefones celulares) foi proposta há algum tempo atrás por alguns autores [Jensen and Rahmat-Samii, 1995; Salles et al. 2001]. Estas antenas emitem mais no sentido oposto à cabeça, melhorando a qualidade da comunicação, reduzindo os riscos à saúde dos usuários e o consumo da bateria. Elas podem ser fabricadas com pequenas dimensões e de forma compacta, integrada à própria caixa dos celulares, e são de baixo custo, representando então uma opção interessante para esta utilização.

Neste trabalho serão resumidos os principais efeitos térmicos e não térmicos das radiações não ionizantes, são mencionadas as principais normas que limitam a exposição das pessoas (ocupacional e não ocupacional) a estas radiações, são apresentadas estimativas teóricas e resultados medidos para os campos irradiados por Estações de Rádio Base (ERBs) tipicamente utilizadas em sistemas móveis no Brasil, e estes resultados são comparados com as principais normas disponíveis. É também resumido o método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD) usado para o cálculo da taxa de absorção específica (SAR) na cabeça do usuário de transceptores móveis com antenas tipo monopolo convencional e com antenas planares tipo patch retangular. São mostrados resumidamente o projeto, simulação do desempenho e os principais resultados medidos com estas antenas, para as regiões de campo próximo (distâncias da mesma ordem de grandeza ou menores que o comprimento de onda) e de campo distante (distâncias maiores que alguns comprimentos de onda).

Os resultados apresentados são discutidos em presença do Princípio da Precaução, observando-se que para o caso das ERBs tipicamente utilizadas, mesmo as normas mais restritivas são respeitadas mantendo-se boa qualidade no sistema. Também, são discutidos os principais benefícios da utilização das antenas diretivas em novas gerações de transceptores móveis. Finalmente, são feitas considerações sobre a utilização de telefones celulares por crianças e adolescentes. Estes, por razões diversas, são mais suscetíveis que os adultos.

II. Principais Eveitos Térmicos e Não Térmicos

Em frequências típicas de sistemas de comunicações, p.ex., em RF (Rádio Frequências) ou em microondas, os principais efeitos da absorção da radiação não ionizante podem ser divididos em dois tipos basicamente, que são denominados efeitos "térmicos" e "não térmicos", que serão considerados a seguir.

II.1. Efettos térmicos

Os efeitos térmicos são aqueles causados por um aquecimento direto dos tecidos biológicos como resultado da absorção da energia eletromagnética num meio dissipativo ou com perdas, isto é, nos meios dielétricos onde a permissividade (ou constante dielétrica) apresenta uma parte imaginária maior que zero. A parte imaginária (¿") da permissividade relativa de um dielétrico dissipativo pode ser relacionada a uma condutividade equivalente:

$$\sigma = 2\pi f \varepsilon_o \varepsilon_r^* [S/m], \tag{1}$$

onde f é a freqüência e \mathcal{E} , é a permissividade do vácuo. Tanto os valores das partes real (\mathcal{E} ,') e imaginária (\mathcal{E} ,") da permissividade relativa (\mathcal{E} , = \mathcal{E} ,' + j, \mathcal{E} ,"), bem como da condutividade equivalente σ variam substancialmente com a freqüência e com o tipo de tecido [Fischetti, 1993]. Ao contrário das radiações não ionizantes em comprimentos de onda menores (p.ex., no infravermelho, ou no visível, etc.), as radiações em microondas e em rádio freqüência (RF) não são somente absorvidas pela pele, mas dependendo da freqüência, em camadas mais profundas de tecidos também. Uma vez que os sensores de temperatura do corpo humano estão localizados somente na periferia do corpo, efeitos prejudiciais aos tecidos podem ocorrer devido a aquecimentos excessivos em regiões mais profundas (p. ex., nos tecidos do cérebro), sem serem percebidos pelas pessoas.

Então, genericamente, todos os efeitos que podem ser devidos a um aumento de temperatura nos tecidos são chamados efeitos térmicos. Estes efeitos térmicos têm sido estudados há muitas décadas [Bernhart, 1992; Bronzino, 1995; Grant, 1981], e os resultados da absorção dos campos eletromagnéticos por diferentes tipos de tecidos são relativamente bem conhecidos, existindo mesmo normas internacionalmente aceitas que estabelecem limites de exposição em função da freqüência de operação, do tempo de exposição, do tipo de usuário, etc.. Entre estas, pode-se citar p.ex., as normas IEEE/ANSI e ICNIRP/CENELEC [ICNIRP, 1998; IEEE, 1991]. Em junho de 2002, a ANATEL, através da sua Resolução nº 303 [ANATEL, 2002], recomendou níveis comparáveis aos da norma ICNIRP.

Os limites de exposição são variáveis com a freqüência, em parte por considerar ressonâncias e também por considerar a menor profundidade de penetração dos campos eletromagnéticos em freqüências mais elevadas. A ressonância é importante, pois quando este fenômeno ocorre, resulta em maior absorção de energia. Por exemplo, o corpo humano de um adulto apresenta tipicamente ressonâncias na faixa de 40 a 80 MHz, enquanto o corpo de uma criança pode apresentar ressonâncias na faixa de 200 a 300 MHz. Por outro lado, a cabeça de um adulto pode apresentar ressonâncias na faixa de 400 a 500 MHz, e na cabeça de uma criança a ressonância pode ocorrer na faixa de 700 a 800 MHz [ICNIRP, 1998]. Ressonâncias em tecidos e estruturas menores do corpo podem ocorrer em freqüências mais elevadas.

Os limites de exposição podem ser estabelecidos em intensidade de campo elétrico (V/m) ou de campo magnético (A/m), ambos mais utilizados em freqüências mais baixas, p.ex., até algumas centenas de MHz, ou em densidade de potência (mW/cm² ou W/m²), normalmente mais utilizada acima de algumas centenas de MHz.. Por outro lado, um parâmetro dosimétrico

largamente utilizado é a "Taxa de Absorção Específica" (SAR), que é definida como "a derivada no tempo do aumento de energia " ∂W " absorvida ou dissipada num elemento de massa " ∂m " contida num elemento de volume " ∂V " cuja massa específica é " ρ " " [Salles, 1996; Stuchly, 1995], e que analiticamente pode ser expressa por:

$$SAR = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial m} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial (\partial V)} [mW / g]$$
 (2)

daí é possível, em outras palavras, dizer-se que a SAR quantifica a potência absorvida por unidade de massa. Utilizando o teorema do *Vetor de Poynting* para campos eletromagnéticos com excitação senoidal no domínio da frequência, a SAR pode ser também expressa por [Salles, 1996; Stuchly, 1995]:

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |Ei|^2 = \frac{\varpi \varepsilon_0 \varepsilon_r}{2\rho} |Ei|^2 = \frac{|J_i|^2}{2\rho\sigma} [mW / g]$$
(3)

onde E_i e J_i são os valores de pico do campo elétrico e da densidade de corrente no local considerado. Observa-se que a SAR é diretamente proporcional ao aumento local de temperatura que é responsável pelos efeitos térmicos:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{SAR}{C_P} [°C / s]$$
 (4)

onde T é a temperatura em graus Celsius, e C_p é o calor específico do tecido [J/kg °C].

Um critério básico utilizado pelas normas que consideram exclusivamente os efeitos térmicos é que até um nível de SAR de 4 W/kg o acréscimo de temperatura dos tecidos não ultrapassa 1 °C, o que foi considerado um limite para não haver dano por efeito térmico [ICNIRP, 1998; IEEE, 1991]. A exposição a campos mais intensos, produzindo valores de SAR acima de 4 W/kg, pode comprometer a capacidade termo-regulatória do corpo e resultar em níveis danosos de aquecimento dos tecidos [Bernhardt, 1992; ICNIRP, 1998]. Então a partir daí são atribuídos fatores de segurança, dependendo se a exposição ocorrer em: (a) ambientes "controlados", ou "ocupacionais", (p.ex., trabalhadores que estão instruídos e treinados em relação aos riscos potenciais e alertados a tomar as devidas precauções, e tem condições de avaliar os níveis de campo, identificar situações de maior risco e se proteger adequadamente, ou em (b) ambientes "não controlados", ou "público em geral", quando pessoas de diferentes idades e com situações de saúde variáveis estão envolvidas, podendo incluir grupos ou individuos mais suscetíveis, e que via de regra não estão conscientes ou prevenidos dos riscos de exposição à radiação não ionizante.

Também, o limite em SAR depende do tipo de exposição. Para exposição do corpo inteiro, por exemplo, pode-se considerar a SAR média, que será então a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa. Entretanto, para aquecimentos localizados, como os produzidos pelos telefones celulares emitindo muito próximos da cabeça do usuário (a 2,5 cm ou menos), deve ser usada a SAR local, que é definida como a potência absorvida por unidade de massa de tecido (p.ex. em mW/g ou em W/kg). Pela norma IEEE/ANSI [IEEE, 1991] o valor médio de SAR, para um grama de tecido contínuo, de 1,6 mW/g não deve ser ultrapassado. Pela norma ICNIRP/CENELEC [ICNIRP, 1998] o nível máximo da SAR (valor médio para 10 g de tecido contínuo) deve ser 2 mW/g, o que coincide com o valor adotado pela ANATEL.

II.2 Efeitos não- térmicos

Os efeitos "não térmicos" são, por exemplo, efeitos bioquímicos ou eletrofísicos causados diretamente pelos campos eletromagnéticos induzidos, e não indiretamente por um aumento localizado ou distribuído de temperatura. Estes efeitos ainda estão sendo estudados, havendo atualmente resultados conflitantes na literatura científica internacional. Alguns resultados de experiências com cobaias e "in vitro" mostraram que estes efeitos podem ocorrer em níveis de energia substancialmente inferiores (p.ex., dezenas ou centenas de vezes abaixo) àqueles correspondentes aos efeitos térmicos.

Alguns efeitos "não térmicos" reportados na literatura incluem efeitos nos sistemas nervoso, cardiovascular e imunológico, bem como no metabolismo e em fatores hereditários [Bernhart, 1992; Bronzino, 1995]. Entretanto, nestas áreas os resultados ainda são polêmicos, não existindo conclusões definitivas, o que poderá ainda demorar muitos anos. Alguns resultados são mesmo conflitantes, especialmente devido a técnicas experimentais não muito confiáveis. Por exemplo, (a) os métodos utilizados para caracterizar os sintomas em estudos epidemiológicos; (b) dosimetria em RF e microondas, especialmente em campo próximo; e (c) a presença de influências estranhas não consideradas na interpretação dos resultados.

Efeitos que foram claramente demonstrados incluem a alteração no fluxo de íons através das membranas das células (afetando particularmente as propriedades eletro-fisiológicas das células nervosas), alteração na mobilidade dos íons de cálcio (particularmente nos tecidos do cérebro), alterações na síntese de DNA e na transcrição de RNA e efeitos na resposta de células normais a moléculas sinalizantes (incluindo hormônios, neurotransmissores e fatores de crescimento) [Bernhart, 1992]. Alterações no fluxo de cálcio em células, na barreira hematoencefálica ("blood-brain barrier"- BBB, que protege o cérebro de certas toxinas) e no desenvolvimento de tumores cerebrais foram também reportados [Fischetti, 1993].

Entre outras, uma incerteza importante que está para ser confirmada é se estes efeitos não térmicos podem ou não ocorrer em taxas de absorção específicas bem abaixo daquelas observadas para os efeitos térmicos. Efeitos no sistema imunológico foram constatados em cobaias quando a SAR era maior que 0,4 mW/g, as células nervosas eram influenciadas quando os valores de SAR eram superiores a 2 mW/g e exposição a SAR entre 2 e 3 mW/g promoveu a ocorrência de câncer ou carcinomas em ratos [Bernhart, 1992]. Além disto, alterações no sistema endócrino e na química sangüínea foram relatados quando a SAR é maior que 1 mW/g e alterações nos sistemas hematológicos e imunológicos ocorrem quando a SAR é igual ou maior que 0,5 mW/g para exposições prolongadas [Stuchly, 1995]. Alguns autores resumem os dados experimentais em cobaias sugerindo que os efeitos aparecem em SAR médias entre 1 e 4 mW/g, e isto tem sido um critério adotado nas normas mais recentes [Stuchly, 1995].

Recentemente, os Drs. L. Salford (neurocirurgião) e B. Persson (biofísico) da Universidade de Lund na Suécia mostraram que níveis muito baixos de exposição (SAR = 0,002 W/Kg, durante somente 2 horas) podem alterar a barreira hemato-encefálica (*Blood Brain Barrier*- BBB), permitindo que substâncias químicas penetrem em neurônios no córtex, no hipocampo e em gânglios basais do cérebro. Esta alteração permanecia ainda evidente 4 semanas após uma única exposição de 2 horas, mesmo naqueles níveis baixíssimos de SAR [NIEHS, 2003].

Também recentemente, foi reportada a indução de proteínas de choque térmico (HSP- "Heat-Shock Proteins") em vermes do tipo nematóides ("Caenorhabditis Elegans") com exposição prolongada a campos eletromagnéticos de baixa intensidade (SAR de 0,001 W/Kg, em 750 MHz), o que foi atribuído a mecanismos não térmicos que podem também ocorrer em tecidos humanos [De Pomerai et al., 2000]. Isto sugere então que os limites atuais de exposição devem ser reconsiderados, por exemplo com a adoção do Princípio da Precaução (PP).

Revendo a literatura, observa-se que, à medida que as pesquisas avançam e novos resultados aparecem, as normas são atualizadas e novos limites mais restringentes são sugeridos. Entre as muitas dúvidas que ainda estão por ser esclarecidas é possível ressaltar, por exemplo, como o campo eletromagnético atua em determinadas estruturas, como: (a) nos cromossomos ou nas moléculas de DNA que constituem os genes [Fischetti, 1993], e (b) na alteração da mobilidade dos íons (p.ex., de cálcio), particularmente em tecidos do cérebro e nas propriedades eletrofisiológicas das células nervosas [Bernhart, 1995].

A própria OMS - Organização Mundial da Saúde, está coordenando um projeto multinacional visando maior conhecimento dos efeitos não térmicos. Entre outros, reconhece que: "...existem "brechas no conhecimento" ("gaps in knowledge") que foram identificadas para pesquisas subseqüentes, para se ter melhor avaliação dos riscos à saúde". "Deve demorar cerca de 3 a 4 anos para que a necessária pesquisa em RF seja concluída, avaliada e que os resultados de quaisquer riscos sejam publicados" [WHO, 1996].

Por exemplo, em relação à utilização dos telefones móveis por crianças, a Dra. Gro Harlem Brundtland, Diretora Geral da OMS, declarou "Eu evitaria deixar crianças utilizar telefones móveis por horas todos os dias, porque nós não conhecemos o suficiente sobre os danos" [Bruntland, 2002]. Por outro lado, em reunião realizada no início de 2003, a OMS decidiu que já existem "evidências científicas suficientes" para a aplicação do "Princípio da Precaução - PP" [WHO, 2003]. Entre outros, os resultados do Projeto REFLEX [Reflex Progress Summary, 2004] reportaram diversos efeitos não térmicos (p.ex., quebras simples e duplas nas moléculas de DNA, alterações nos cromossomas, etc.), que podem ocorrer em níveis de exposição substancialmente abaixo daqueles correspondentes aos efeitos térmicos. Segundo entendimento da OMS, "o Princípio de Precaução (PP) é um critério de abordagem de riscos aplicado em circunstâncias com um alto grau de incerteza científica, refletindo a necessidade de tomar atitudes em face de riscos potencialmente sérios, sem esperar os resultados da pesquisa científica". A OMS declara também que... "Não basta obedecer às normas atuais. Os sistemas irradiantes devem usar níveis de radiação eletromagnética tão baixos quanto possível" [WHO, 1996]. Este conceito é representado pelas siglas ALARA (As Low As Reasonably Achievable) e ALATA (As Low As Technically Achievable) e está por trás dos níveis mais restritivos alcançados por um consenso maduro entre empresas prestadoras de serviços e os legisladores, garantido-se também boa qualidade do serviço p.ex., [Suíça, 1999].

III. Principais Normas Disponíveis Limitando as RNI

As normas disponíveis mais utilizadas podem, genericamente, ser dividas em dois grupos: a.) as que consideram somente os efeitos térmicos das RNI, que estão bem estabelecidos, entendendo que não há conhecimento científico suficiente para a adoção de limites mais restritivos; e b.) aquelas que adotam níveis mais restritivos, considerando em parte os efeitos não térmicos das RNI e incorporando em parte o Princípio da Precaução (PP). Entre as primeiras estão as normas IEEE/ANSI e ICNIRP/CENELEC, sendo que os limites desta última foram também adotados pela ANATEL em sua Resolução 303,. Entre as normas que consideram em parte os efeitos não térmicos podem ser mencionadas as da Suíça, Itália, Luxemburgo, Bélgica, Rússia, China, etc.

A título de exemplo, na Tabela I abaixo estão resumidos alguns dos limites estabelecidos (em frequências próximas a 850 MHz), pelas normas mais difundidas, . Os valores em SAR (para exposição localizada e para exposição de corpo inteiro) especificados pelas normas IEEE/ANSI e ICNIRP/CENELEC (mencionados na seção anterior) estão também incluídos nesta tabela.

TABELA I - Normas de Exposição (em 850 MHz)

Normas de exposição	Número	Número Valores máximos de exposição			
humana	V 1000000000000000000000000000000000000	Campo	Densida-	SAR	SAR
		Elétrico	de de	locali-	corpo
		E[V/m]	Potência	zada	inteiro
		1/2 (C) 1 (MAC)	U_{max}	(W/Kg)	(W/Kg)
		t.	$[W/m^2]$	30 9520	200 038-000
ANSI/IEEE (1991/92)	C.95.1	46	5,7	1,6	0,08
ICNIRP (1998)	ENV 50166-2	40	4,3	2	0,08
ANATEL (2002)	Resolução 303	40	4,3	2	0,08
Porto Alegre (jan. 2000)	8.463	40	4,3	s 	
Itália (1998)	381	6	0,1	-	
Porto Alegre (abr. 2002)	8.896	4	0,043	: —	
Suíça (1999)	814.710	4	0,043	_	
Norma de Compatibilidade		E [V/m]	$U_{max} = [W/m^2]$		
Eletromagnética					
IEC/ABNT (out 1997)	NBR IEC 60601-1-2	3	0,024	· <u> </u>	-

Em relação aos telefones móveis, o IEEE estabeleceu um procedimento de medidas destes aparelhos (IEEE P 1528) que foi recomendado pela FCC nos EUA [FCC, 2001]. Na Comunidade Européia, o CENELEC também estabeleceu em meados 2000 um procedimento de medidas (EN 50360). No Brasil, em 2003 o CPqD – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, em Campinas, SP, recebeu um equipamento para medidas de SAR. Também o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em São Jose dos Campos, SP, deverá receber em breve. Em 25/10/2001 foi sancionada no município de Porto Alegre, RS, a Lei Municipal Nº 8.797 (publicada no D. O. de Porto Alegre em 1/11/2001, pág. 2), que ... "Dispõe sobre a obrigatoriedade de confecção e distribuição de material explicativo dos efeitos das radiações emitidas pelos aparelhos celulares e sobre a sua correta utilização, e dá outras providências".

Entre outros, determina que ...Art. 1° Ficam as empresas que comercializam aparelhos de telefonia celular no Município de Porto Alegre, obrigadas a confeccionar e a distribuir, no ato da venda, material explicativo contendo informações acerca das radiações emitidas pelos aparelhos celulares e sobre as precauções necessárias à sua correta utilização. Esta Lei foi regulamentada pelo Decreto Municipal Nº 14.285 de 10/9/2003 (publicado no D. O. de P. Alegre em 22/9/2003, págs. 2 e 3), que entre outros determina que:Art. 3° - O material explicativo de que trata o Art. 1° da Lei N° 8.797/01 deverá conter, no mínimo, as informações constantes no anexo deste Decreto. Então, no Anexo estão as "Orientações aos Usuários de Telefones Celulares", onde entre outros se lê: ... "O telefone celular é um receptor e emissor de ondas de rádio freqüência (radiação eletromagnética), razão pela qual recomenda-se a observância das seguintes orientações:

- uso indevido do telefone celular pode causar danos à saúde, logo a prevenção é uma estratégia de saúde pública.
- telefone celular não é brinquedo infantil, portanto, evite que as crianças o utilizem como brinquedo

Evite o uso prolongado do celular."

Esta legislação ainda que necessite melhorias, é considerada importante pois é a primeira no Brasil a tratar deste assunto de forma preventiva.

IV. CÁLCULO DAS DIBIÂNCIAS A PARTIR DAS QUAIS AS NORMAS SÃO OBEDECIDAS EM ERBS TÍPICAS

Para as ERBs tipicamente utilizadas em sistemas de telefonia celular no Brasil, foram efetuadas estimativas teóricas e medidas dos campos irradiados, obtendo-se boa concordância entre ambos. Os aspectos teóricos dos cálculos dos campos para as ERBs foram mostrados em [Salles et al., 2000]. Uma forma relativamente simples e prática para visualizar os limites a partir das quais as normas são atendidas em cada caso, é a representação através das "Zonas de Exclusão", que são os locais onde as normas são superadas, o que será visto adiante. Inicialmente, as distâncias a partir das quais as normas são obedecidas, são calculadas a partir da equação de Friis [Friis, 1946] para espaço livre:

$$R(\theta,\phi) = \sqrt{\sum_{m=1}^{3} \frac{P_m D_m (\theta - \theta_m, \phi - \phi_m) N_m}{4\pi U_{\text{max}}}}$$
 (5)

onde $R(\theta,\phi)$ é a distância da antena para um azimute ϕ e altura θ , P_m é a potência efetivamente irradiada pela antena por canal, D_m é a função de diretividade da antena, θ_m é o tilt ou ângulo de orientação vertical da antena, ϕ_m o azimute ou ângulo de orientação horizontal da antena, N_m o número de canais ("canais rádio") por setor e U_{max} é o limite máximo de densidade de potência para o qual se quer calcular a região no qual este limite é observado. Pode ser acrescentado um fator que leve em conta as reflexões, e margens de segurança, por exemplo, 2,51 e 2/3 respectivamente, de acordo com a Consulta Pública 296/01 que deu origem à Resolução 303/2002 — ANATEL [ANATEL, 2002].

IV.1 Parâmetros da ERB usada nos cálculos

Todos os cálculos foram realizados para a pior situação, para uma ERB típica. Esta ERB possui 3 setores simétricos de azimute 0°, 120° e 240° (para efeitos de cálculo se assume que as antenas estão localizadas no mesmo ponto). As antenas não têm tilt (0°), e a ERB opera na faixa de 850 MHz. A potência equivalente isotropicamente irradiada por canal (EiRP) é de 150 W (52 dBm), sendo 12 canais por setor. O ganho das antenas é de 15 dBi.

IV.2 Regiões de Exclusão

Nesta seção são mostradas as regiões do espaço para as quais as normas são superadas ou não. A região externa à superfície representa situações de atendimento à norma enquanto a região interna representa os pontos onde a norma é superada ("região de exclusão"). Para tanto, são mostrados diagramas em perspectivas tridimensionais bem como projeções horizontais e verticais.

Na Tabela II estão resumidas as distâncias de atendimento às diferentes normas. Observa-se que para a ERB estudada, as normas mais restritivas são atendidas a distâncias horizontais a partir de cerca de 90 m e a distâncias verticais a partir de cerca de 20 m.

Nos exemplos a seguir, são calculadas as superfícies de contorno a partir das quais as normas são obedecidas, para uma ERB de média capacidade e média potência: frequência de operação: Bandas A e B (~850MHz); número de canais por setor: 12 ; potência por canal: 10 W; ganho das antenas: 12 dBi.

TABELA	II DISTÂNCIAS DE ATENDRAENT	o te Nomere
LADINA	LI LURTANCIAN DE PATENDIMENT	O AS INCREMAS

Normas	Distância horizontal [m]	Distancia vertical [m]
ANSI/IBBB (N° C 95.1, 1991/ 92)	5,7	1,3
ICNIRP (Nº ENV 50.166-2,1998)	6,3	1,5
ANATEL (Resol. Nº 303, jul. 2002)	6,3	1,5
Porto Alegre (Nº 8.463, jsm. 2000)	6,3	1,5
Itália (Nº 381, 1998)	42,8	9,9
Porto Alegre (Nº. 8.896, abril 2002)	63,3	15,1
Suíça (Nº 814.710, 1999)	63,3	15,1
IEC/ABNT (NBR 60601-1-2, 1997)	87,3	20,2

A Figura 1 mostra os limites de atendimento da norma ICNIRP/CENELEC, que tem os limites análogos aos da recomendação adotada pela ANATEL [ANATEL, 2002]. Para esta ERB, a partir de uma distância de 6,3 m na horizontal ou de 1,5 m na vertical os valores limites da recomendação da ANATEL são atendidos.

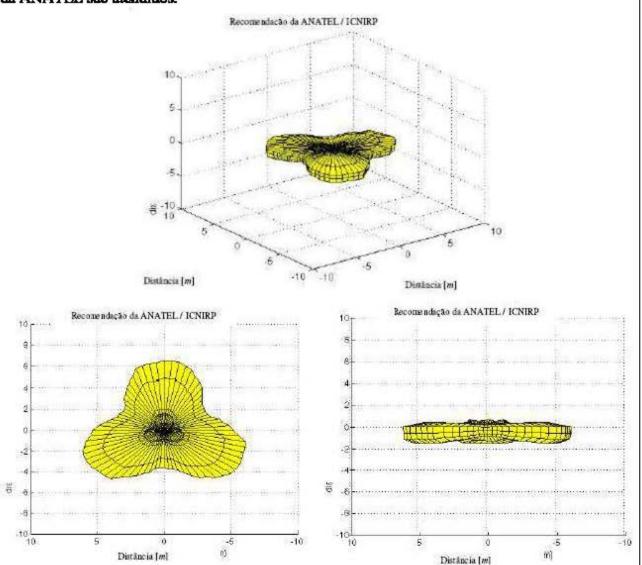


Fig. 1. Zonas de exclusão conforme a recomendação adotada pela ANATEL. Escala = 10 m. (a) perspectiva; (b) projeção horizontal; (c) projeção vertical.

Na Figura 2 são mostradas as zonas de exclusão referentes à norma da Suiça [Suiça, 1999]. Observa-se que para esta ERB, a partir de uma distância de 63,3 m na horizontal ou de 15,1 m na

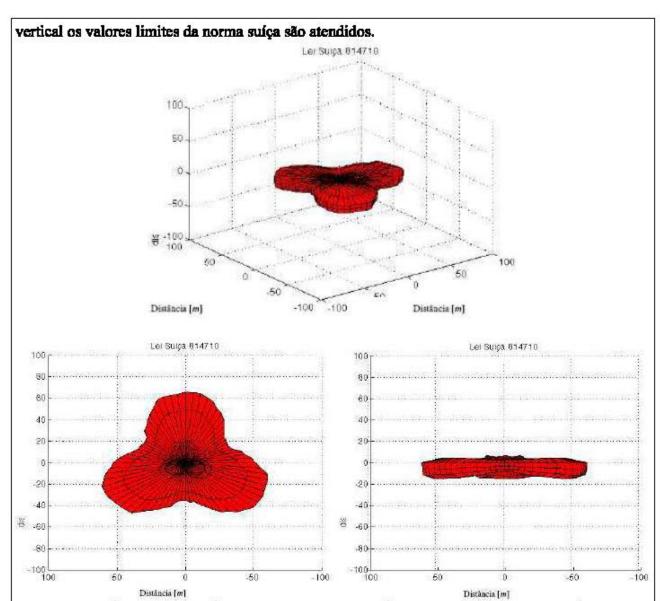


Fig. 2. Zonas de exclusão conforme a norma sulça. Escala = 100 m. (a) perspectiva; (b) projeção horizontal; (c) projeção vertical.

Na Tabela III estão resumidos os valores limites (em freqüências próximas a 850 MHz) em campo elétrico e em densidade de potência nas normas mais difundidas, e as distâncias (horizontal e vertical) a partir das quais estes limites são respeitados.

TABELA III COMPARAÇÕES ENTRE DIFERENTES NORMAS

Normas de exposição humana	Número		máximos osição	Distância para uma ERB típica	
		E[V/m]	U _{max} [W/m²]	Horiz.	Vert. [m]
ANSI/IEEE (1991/92)	C.95.1	46	5,7	5,7	1,3
ICNIRP/CENELEC (1998/96)	ENV 50166-2	40	4,3	6,3	1,5
ANATEL (jul. 2002)	Resol. n°303	40	4,3	6,3	1,5
Porto Alegre (jan. 2000)	8463	40	4,3	6,3	1,5
Itália (decreto set. 1998)	381	6	0,1	42,8	9,9
Porto Alegre (abr. 2002)	8896	4	0,043	63,3	15,1
Suíça (norma dez. 1999)	814.710	4	0,043	63,3	15,1

Salzburg, Áustria	Ĭ	~ 0,6	0,001	~ 430	~ 100
Norma de Compatibilidade		E [V/m]	$U_{max} = [W/m^2]$	E [V/m]	$U_{max} = [W/m^2]$
IEC/ABNT (out 1997)	NBR IEC 60601-1-2	3	0,024	87,3	20,2

Genericamente pode-se mencionar então, que no caso das ERBs típicas consideradas, desde que as antenas sejam instaladas em torres elevadas (p.ex., 20 ou 30 metros de altura, ou mais), mesmo os limites das normas mais restritivas consideradas (p.ex., norma da Suíça) são atendidos em distâncias maiores que cerca de 60 m na direção de máxima irradiação (i.é a norma é atendida desde que a antena esteja 15 m acima do ponto mais elevado num raio de 60 m, considerando *tilt* 0°). Estes valores devem ser ajustados e calculados caso a caso. Assim, para ERBs de grande capacidade (i.é. com um número maior de canais) e/ou grande potência as distâncias serão maiores que as da Tabela III. Inversamente, para ERB de menor capacidade e/ou potência, p.ex. mini-ERB, as normas serão atendidas em distâncias menores.

V. Modelamento da SAR na Cabeça e do Diagrama de Irradiação Em Telefones Móveis Com Antenas Convencionais e Planares

Para o modelamento do problema foram desenvolvidos algoritmos baseados no método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD), conforme descrito em [Salles et al., 2000, 2001 e 2002].

III.1 O Domínio do Problema

Quando se desejam processar simulações numéricas de um dado problema é necessário contar com um modelo que represente adequadamente o espaço físico do mesmo. Modelos unidimensionais ou bidimensionais são possíveis, tendo como vantagens a correspondente redução na capacidade de memória, nos tempos de processamento e na complexidade necessária do equacionamento e dos algoritmos. Graças à maior capacidade computacional disponível, cada vez mais modelos tridimensionais, embora mais exigentes, são usados. Estes modelos tridimensionais podem ter geometria simples, de relativamente fácil implementação, como uma representação de cabeça humana por camadas de elipsóides de revolução, ou modelos mais complexos. Para o presente estudo optou-se por um domínio tridimensional o mais aproximado possível da realidade.

V.1.10 domínio no campo próximo.

O modelo da cabeça usado foi desenvolvido especificamente para este trabalho. Neste modelo, os diferentes tecidos que compõem a cabeça são tratados como materiais homogêneos e invariantes definidos a partir de imagens médicas disponíveis: imagens de cortes (Figura 3a), Raios-X e ressonâncias magnéticas (Figura 3b). Estas imagens, num total de 128, com espaçamento $\Delta = 1,8$ mm entre cortes contíguos, foram tratadas individualmente usando técnicas de reconhecimento de padrões, automáticas e manuais (p. ex., máscaras de cores do software CorelDraw® com correção individual do reconhecimento de estruturas) para a conformação de um conjunto de arquivos de imagens bitmap (Figura 3c) dos quais foi extraída a malha do domínio: uma matriz tridimensional de 128 x 170 x 130 pontos ou pixels, totalizando aproximadamente 3 milhões de pontos (Figura 3d).

Os diferentes tecidos ou materiais identificados correspondem a pele/gordura, músculos, ossos, cérebro, olhos e o ar. Então, uma vez que estes tecidos são considerados homogêneos, as

estruturas menores, como vasos capilares, não são levadas em consideração.

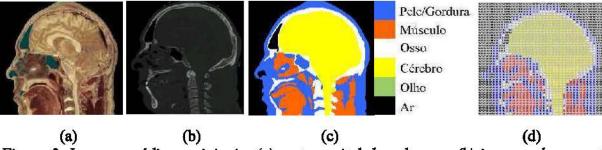


Figura 3. Imagens médicas originais: (a) corte sagital da cabeça, e (b) imagem de ressonância magnética do mesmo corte. (c) Imagem simplificada de um corte sagital da cabeça com seus tecidos identificados por cores. (d) Ilustração de um plano da matriz de domínio, onde cada índice corresponde a um tecido.

TABELA IV. Parâmetros dos Tecidos Usados na Simulação.

Tecido	εr	σ[S/m]	ρ[kg/l]
Pele/Gordura	36,5	0,700	1,10
Músculo	55,3	2,000	1,04
Osso	7,75	0,105	1,85
Cérebro	46,0	1,650	1,03
Olho	80,0	1,900	1,02

Os parâmetros eletromagnéticos médios dos diferentes tecidos presentes foram definidos de acordo com [Jensen and Rahmat-Samii, 1995] e com [Iskander et al., 2000] para a freqüência de 1900 MHz e constam na Tabela IV. Estes valores são próximos dos valores recomendados pelo FCC e IEEE [IEEE, 2001].

Dos valores da Tabela IV se observa que deverá ocorrer uma elevada densidade de fluxo elétrico devido às constantes dielétricas elevadas, o que associado aos altos valores de condutividade, irá resultar em SAR elevada para alguns tecidos de acordo com a equação (3).

V.1.2 O domínio no campo distante: Malha multidimensional

A malha fina de Δ = 1,8 mm permite uma adequada representação dos diferentes tecidos biológicos e dos detalhes da antena e do aparelho celular. Porém, para obter os diagramas de irradiação das antenas simuladas, foi implementada uma segunda malha, de menor detalhamento, com células de Δ = 27 mm, onde foram obtidos os valores de campo para uma distância 10 λ para garantir que se está na região de campo distante, que é mais homogênea. A Figura 4 abaixo, ilustra um domínio composto de duas malhas com células de dimensões diferentes [Iskander *et al.*, 2001].

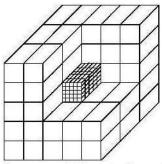


Fig. 4 Representação de uma malha com células de duas dimensões como a implementada.

A malha fina foi implementada com $23,04 \times 30,60 \times 32,40$ cm³, $(128 \triangle \times 170 \triangle \times 180 \triangle)$, enquanto a malha grossa tem $3,51 \times 3,645 \times 4,59$ m³ $(130 \triangle \times 135 \triangle \times 170 \triangle)$. O acoplamento dos

problemas nas duas malhas se dá quando os valores calculados nos pontos extremos da malha fina são usados como valores de fonte para os pontos coincidentes da malha grossa [Salles et al., 2002].

V.2 Limitação do domínio, Estabilidade e Dispersão Numérica.

A condição de contorno utilizada neste trabalho foi uma parede absorvedora, como a descrita por Mur (de 2th ordem) [Mur, 1981] dado que esta solução exige menos recursos computacionais que outras soluções como a PML, Perfect Matching Layer [Bérenger, 1996; Taflove, 1998] e mantém uma boa atenuação da onda refletida na parede, suficiente para este tipo de simulação [Lazzi, 97]. Esta condição é necessária para simular uma propagação em espaço livre num domínio numérico que necessariamente deve ser truncado. Além das reflexões nas bordas do domínio, as simulações poderão divergir dependendo da relação entre o comprimento da onda propagada e as dimensões das células de discretização, e também do número de iterações. Neste caso, como o cálculo de SAR não é sensível à fase, pode ser tolerado certo grau de dispersão na região próxima. Na região de campo distante (malha grossa) o número de pontos por comprimento de onda é relativamente pequeno e o intervalo de convergência da simulação fica, portanto, reduzido. Isto não comprometeria a obtenção dos diagramas de irradiação desde que os mesmos podem ser determinados como medidas relativas de campo nas diferentes direções. Para contornar estas dificuldades soluções baseadas nos potenciais vetoriais, em integrais do campo distante [Sullivan and Young, 2001] e outras variantes do método FDTD como o método Pseudo Espectral no Domínio do Tempo (PSTD), que requer apenas dois pontos de cálculo por comprimento de onda [Liu and He, 2001], e alternativas incondicionalmente estáveis (p.ex. Alternating Direction-Implicit-FDTD ou ADI-FDTD [Chung et al., 2003]) foram propostas.

V.3 O Algoritmo

O método FDTD resolve, num domínio de cálculo previamente discretizado, as equações diferenciais de Maxwell, numa forma explícita de diferenças finitas [Taflove, 1998]. Desta forma os cálculos são realizados localmente, considerando apenas a vizinhança do ponto calculado e as soluções avançam no tempo a cada iteração o que permite resolver problemas transientes e outros, como neste caso, nos quais a adequada representação do domínio de cálculo exige matrizes de grandes dimensões. O algoritmo implementa equações semelhantes à (6), que diferem das equações originalmente propostas, pelo fato de calcular ambos os campos, elétrico e magnético numa única malha e não em malhas intercaladas, evitando a duplicação da malha.

$$\mathbf{Ez} \begin{bmatrix} \mathbf{z} \\ \mathbf{z} \\$$

VI Projeto E Simulação De Antenas Planares

Uma vez que as células da digitalização da cabeça possuem um tamanho definido (Δ), tanto as dimensões dos elementos presentes na simulação (telefone celular, antena, etc) quanto o posicionamento relativo dos mesmos são múltiplos inteiros deste valor. Por exemplo, a distância do telefone celular à cabeça é 0,54 cm (3 Δ), ou seja, próxima a uma distância típica de utilização. O tempo total de cada simulação no supercomputador Cray T94 foi em torno de 2 horas (incluindo o tempo de espera) utilizando para tanto, uma memória de 820 MB para um total de 2400 iterações na malha fina com $\Delta \approx 3$ ps correspondendo a um tempo total de 7,205 ns. Este número de iterações corresponde a 160 iterações na malha grossa para um $\Delta_s = 45$ ps, pois a relação entre Δ e Δ 6 corresponde àquela entre as dimensões das malhas, fina e grossa Δ e Δ 6, garantindo a mesma

velocidade de propagação em ambas as malhas, para um mesmo meio.

VI.1 Modelamento da Antena tipo Monopolo de ¼ de Onda

O modelo do aparelho celular portátil consiste numa caixa metálica, coberta com uma camada dielétrica ($\varepsilon_r = 2,1$) de 1,8 mm, com dimensões totais de $45 \times 19,8 \times 117$ mm ($25 \triangle 11 \triangle 65 \triangle$). A antena foi modelada por uma haste metálica de 39,6 mm ($22 \triangle$) de comprimento fixada na parte superior da caixa metálica. A freqüência de operação definida foi de 1,8926 GHz para que estas dimensões correspondam a $\mathcal{N}4$.

A alimentação é feita através de um cabo coaxial que conecta a antena a uma softsource colocada numa célula imediatamente acima da parede absorvedora, onde é forçado o campo E_y (Figura 5a).

VI.2 Projeto e Modelamento da Antena Planar

Diferentes antenas planares foram propostas [Kaneda et al., 2002; Nakano et al., 2002; Romeu and Soler, 2002; Yang et al., 2001]. Aqui será apresentada uma antena em microstrip do tipo patch retangular simples porque suas características são adequadas para esta aplicação e seu projeto já é bastante estabelecido [Balanis, 1997; Garg et al., 2001]. Nas simulações foram utilizados os parâmetros do substrato RT/duroid 5880 de baixas perdas, que foi usado na implementação da antena ($\varepsilon_r = 2,2$, tg $\delta = 0,0009$ e h = 3,6 mm). A largura da antena deve ser compatível com a largura do aparelho (45 mm = 25 Δ) e com as dimensões das células (voxels) da malha utilizada nas simulações FDTD. Com esta limitação de largura, o plano de terra fica pequeno, os métodos analíticos clássicos usados para o projeto (bem como em algumas simulações) apresentam então resultados aproximados, sendo necessárias medidas ou simulações mais adequadas (p.ex., FDTD) para uma caracterização mais precisa. A antena foi projetada para ter uma largura $W_1 = 34,2$ mm (19 Δ) e comprimento $L_1 = 54$ mm (30 Δ), de forma que, usando as equações para o modelo de cavidade [Garg et al., 2001], verifica-se que a ressonância ocorre em 1,893 GHz (Fig. 5b).

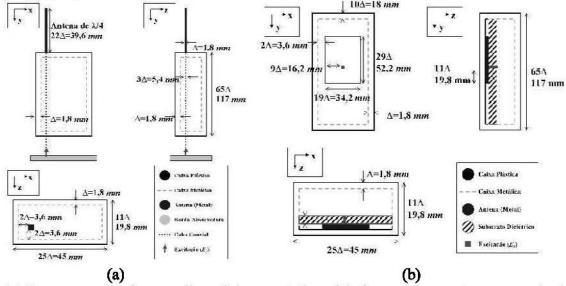


Fig. 5. (a) Representação do aparelho celular portátil modelado com antena tipo monopolo de ¼ de onda alimentada por cabo coaxial, e (b) com antena planar com alimentador coaxial.

VI.2.1. Parâmetros da Antena Patch Simulados no Ensemble®

A antena projetada foi simulada também utilizando o programa para simulação de estruturas planares *Ensemble*[®] (SV v. 2.0.57) [Ansoft, 2002], obtendo-se, para os parâmetros acima

listados, uma taxa de onda estacionária de 1,014. A largura de banda calculada [Balanis, 1997] para uma taxa de onda estacionária (VSWR) = 3 foi de 11 MHz, e a simulada foi de cerca de 60 MHz. Esta largura de banda pode ser melhorada com um projeto otimizado para este fim. Outros dados obtidos de cálculos são os fatores de qualidade: de perdas no condutor, $Q_c = 6,61 \times 10^3$, de perdas no dielétrico, $Q_d = 1,20506 \times 10^3$, de irradiação, $Q_i = 211,83401$, e total, $Q_i = 175,38344$. Com isso a eficiência estimada é de $\eta = 82,79\%$. Observa-se que este modo de alimentação não é tão adequado quanto a sonda coaxial utilizada em [Salles et al., 2002], obtendo-se maior eficiência e largura de banda ($\eta = 86,17\%$ e BW = 13 MHz), pois aqui a linha de transmissão de alimentação contribui também para a irradiação como se observa em [Salles et al., 2002]

VI.3. Simulações FDTD do campo próximo

Nas simulações efetuadas são comparados valores de SAR na cabeça de um usuário de telefone celular portátil para duas situações: a) utilizando antena monopolo de ¼ de onda; e b) utilizando a antena microstrip planar (patch retangular). O objetivo desta comparação é verificar a distribuição de campo no espaço, bem como observar se ocorre diferença na SAR dos tecidos da cabeça devido à utilização destes dois diferentes tipos de antenas.

Nas Figura 6 estão mostradas, respectivamente, as distribuições de campo elétrico ($20 \times \log |E|$) em cortes frontais (no plano da antena monopolo) e coronais (na base da antena monopolo). É possível observar-se que os níveis de campo no cérebro são substancialmente inferiores (mais que 10 dB) quando a antena diretiva é usada.

Nas Figura 7 estão mostradas as distribuições em escala logarítmica (em dB) para facilidade de leitura, da SAR (10xlog[SAR]) na cabeça para os mesmos cortes frontais e coronais, respectivamente. Esses valores de SAR são normalizados para uma potência entregue à antena de $P_{del} = 600 \text{ mW}$ (pior situação: potência máxima irradiada por um telefone celular analógico ou um digital operando em roaming), onde 0 dB corresponde à SAR = 1 mW/g. Da mesma forma, observa-se que os valores de SAR na cabeça obtidos com a antena diretiva são pelo menos 10 dB inferiores aos obtidos com a antena convencional. É possível estimar nas Figura 7, o valor médio de SAR para 10 g de tecido contínuo, a partir do cálculo em volumes cúbicos com cerca de 2,2 cm de aresta. Uma vez que a norma recomendada pela ANATEL [ANATEL, 2002] para o Brasil estabelece um limite máximo de SAR = 2 mW/g, observa-se nas Figura 7a e 7c que a antena convencional supera por muitas vezes aquela norma, nas condições mencionadas. Estes resultados são comparáveis aos obtidos por outros autores [Bernardi et al., 2001; Dimbylow and Gandhi, 1991; Iskander et al., 2000; Jensen and Rahmat-Samii, 1995; Okoniewski and Stuchly, 1996; Watanabe et al., 1996]. Por outro lado, conforme mostrado em trabalhos anteriores [Salles et al., 2000, 2001] o maior afastamento entre a antena e a cabeça pode levar ao atendimento da norma mesmo quando a antena convencional é utilizada.

No caso da antena diretiva, a redução dos valores do campo e da SAR na cabeça é considerável, levando, via de regra, ao atendimento à norma. Resultados análogos também foram obtidos por outros autores [Bernardi et al., 2001; Jensen and Rahmat-Samii, 1995].

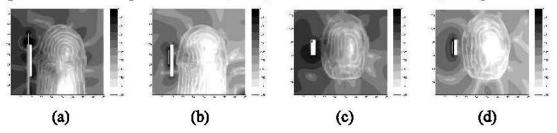


Figura 6. Imagens frontais (xy) da intensidade de campo elétrico ($20 \times \log |E|$) obtidas ao final das simulações, onde utiliza-se: a) o monopolo de ¼ de onda e b) a antena diretiva, e imagens

coronais (xz) para c) o monopolo de ¼ de onda e d) a antena diretiva.

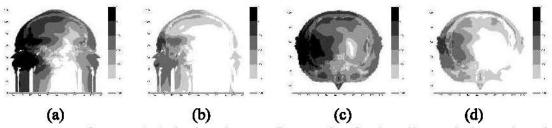


Figura. 7. Imagens frontais (xy) da distribuição da SAR (10×log(SAR)) simulada, onde utiliza-se: a) o monopolo de ¼ de onda e b) a antena diretiva. Imagens coronais (xz) da distribuição da SAR (10×log(SAR)) para c) o monopolo de ¼ de onda e d) a antena diretiva.

Uma vez que a potência absorvida na cabeça (que é parte da potência absorvida total, P_{abs}) é menor, observa-se uma melhoria na eficiência de irradiação, $\eta = (P_{del} - P_{abs})/P_{del}$, das antenas diretivas (em comparação com o monopolo), o que já havia sido assinalado por outros autores.

VI.4. Simulações FDTD do campo distante

O método FDTD com a malha grossa foi utilizado para obter os resultados em campo distante $(d \ge 10\lambda)$, com e sem a presença da cabeça, tanto para a antena monopolo como para a antena diretiva, em cerca de 1,9 GHz. Os diagramas de irradiação obtidos, na forma polar no plano horizontal, estão apresentados na Figura 8, tanto da antena monopolo como da antena diretiva. Estes têm escala radial de 5 dB e, para efeitos de simplicidade na comparação, os campos estão normalizados na direção oposta à cabeça. Nas simulações, a metalização posterior da antena (ou seja, o plano terra) não está efetivamente aterrada, configurando uma situação mais próxima à situação realmente encontrada no caso dos telefones portáteis onde não existe um plano terra efetivo. Nesta situação, obteve-se um diagrama de irradiação horizontal com uma relação frente — costas de cerca de 10 dB, como mostra a Figura 8b. Resultado semelhante foi obtido por [Iskander et al., 2000]. Também os resultados medidos e apresentados a seguir, são próximos deste valor e podem ser considerados adequados para a aplicação em antenas de transceptores móveis operados muito próximos à cabeça do usuário.

Na Figura 8a aparecem os diagramas de irradiação no plano horizontal para a antena monopolo de ¼ de onda com (linha pontilhada) e sem (linha contínua) a cabeça. Observa-se uma diminuição de cerca de 5 dB na direção do usuário devido à presença da cabeça, como têm sido usado no projeto de enlaces (*Body Loss*) [Holma and Toskala, 2000; Nielsen *et al.*, 2002]. Na Figura 8c ambas antenas são comparadas quando operam na presença da cabeça. Aí se observa então, que no caso da antena diretiva (linha pontilhada) a relação frente — costas se mantém pouco menor que 10 dB. Então, para o caso de uma antena diretiva com baixas perdas e baixa taxa de onda estacionária, naturalmente a energia emitida na direção oposta à cabeça (direção preferencial de comunicação) é maior do que no caso da antena convencional, o que seria benéfico em termos de cálculo do enlace (*Power Budget*).

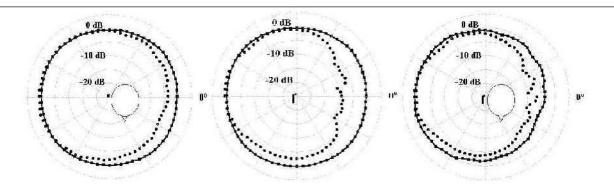


Fig. 8a. Diagrama de irradiação horizontal para a antena monopolo de ¼ de onda:

Linha contínua → sem a cabeça, Linha pontilhada → com a cabeça.

Fig. 8b. Diagrama de irradiação horizontal em espaço livre (sem a cabeça):

Linha contínua → monopolo de ¼ de onda,

Linha pontilhada → antena diretiva.

Fig. 8c. Diagrama de irradiação horizontal na situação de uso (com a cabeça):

Linha contínua →monopolo de ¼ de onda,

Linha pontilhada → antena diretiva.

VII. COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DA SAR PARA ADULTOS E CRIANÇAS

Alguns autores mostraram comparações entre os valores simulados para a SAR em adultos e em crianças e em adolescentes [e.g., Gandhi, O. P. et al., 1996, Fernández et al., 2005]. Por razões diversas, os resultados são mais críticos para os mais jovens que para os adultos. Entre outras, uma vez que os tecidos mais jovens apresentam maior conteúdo de líquido salino, os parâmetros das células no cérebro destes são mais elevados (p.ex., permissividade relativa e condutividade). Isto resulta em maior concentração de campo e maior dissipação de energia naqueles tecidos. Também, a espessura do crânio dos adultos é maior que nos mais jovens, daí há maior penetração dos campos no cérebro destes. Finalmente, e muito importante, nos mais jovens a reprodução das células é mais rápida, e como alguns efeitos (especialmente os não térmicos) ocorrem especialmente na ocasião da reprodução das células, então a situação é mais crítica nos mais jovens. Isto está mostrado nas Fig. 9 e 10. Na Fig. 9 estão comparadas as SAR simuladas para uma criança de 5 anos, 10 anos e um adulto [Gandhi et al, 1996].

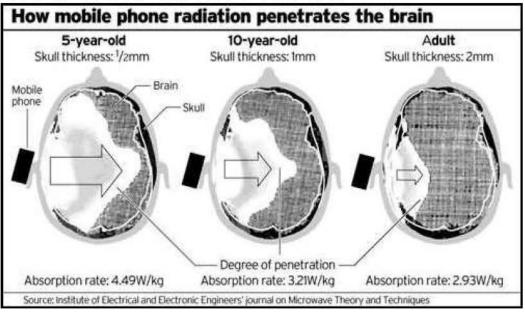


Fig. 9 – Comparações da SAR em crianças de 5 e 10 anos, e em adultos [Gandhi et al, 1996].

A Fig. 10 mostra as SAR simuladas para adultos (esq.) e para criança de 10 anos (dir.) [Fernández et al, 2005].

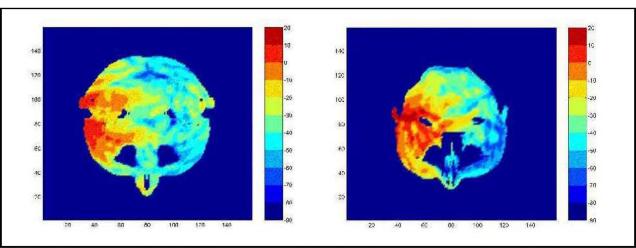


Fig. 10 — Comparações da SAR para um adulto (esq.) e para uma criança de 10 anos (dir.) [Fernández et al, 2005].

Observa-se em ambas figuras, que nos mais jovens a penetração é maior que nos adultos, pelas razões expostas.

VIII. RESULTADOS MEDIDOS EM ANTENAS PLANARES

Dois protótipos da antena projetada foram realizados sobre substratos *RT/duroid*[®] 5880 de 1,8 mm de largura e utilizando conectores SMA.



Figura 11. Antena em microstrip tipo "patch" retangular medida.

Em sequência foram realizadas medidas em câmera anecoica de 5×5×5 m³, usando como receptor um Analisador de Interferência superheterodino EMC-60, Electro-Metrics, acoplado à antena sob teste, e, como gerador, um Sintetizador de Frequências 6745B, Wiltron, com um amplificador VZL6041-K1, Varian, e antena corneta padrão. Desta forma foram realizados dois tipos de medidas: (a) medidas em que o plano terra da antena patch foi desconectado da malha de terra dos cabos do receptor para simular a situação de uso de um telefone celular (ou seja, sem plano de terra efetivo) e, (b) medidas com o conector normalmente soldado ao plano terra.

Observa-se que quando o plano de terra não está efetivamente aterrado, tem-se uma relação frente — costas de aproximadamente 10 dB e ângulo de meia potência de 150°, que são valores próximos aos obtidos nas simulações FDTD. Já com o plano terra efetivamente aterrado, verifica-

se uma relação frente — costas maior que 20 dB e ângulo de meia potência de cerca de 110°. Comparações de diagramas de irradiação no plano horizontal medidos para os dois tipos de aterramento e o diagrama obtido na simulação FDTD estão na Figura 12.

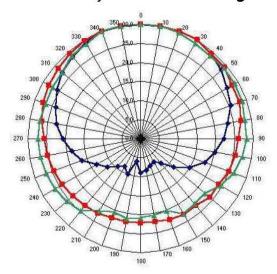


Fig. 12. Diagramas de irradiação no plano horizontal medidos para antena patch com o plano terra efetivamente aterrado [azul], não aterrado [vermelho] e calculado com o FDTD [verde] (5 dB por divisão na escala radial).

IX. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho inicialmente são revisados os principais efeitos térmicos e não térmicos da radiações não ionizantes, e as normas mais difundidas que limitam a exposição das pessoas a estas radiações. A seguir, os valores obtidos de campo elétrico irradiado por uma Estação de Rádio Base (ERB) típica são comparados com os limites de exposição estabelecidos por algumas destas normas. Os resultados são apresentados na forma de regiões de exclusão, no interior das quais os limites das normas são superados, e fora delas estes limites são respeitados.

Algumas normas utilizadas para comparação consideram somente os efeitos térmicos da absorção da energia eletromagnética não ionizante (p.ex., normas IEEE/ANSI, ICNIRP e ANATEL), e outras consideram em parte os efeitos não térmicos (p.ex., normas da Itália e da Suíça), adotando então o Princípio da Precaução.

Os resultados obtidos indicam que, para as situações tipicamente encontradas nas ERB localizadas em torres elevadas (p.ex., cerca de 30 ou 40 m, ou mais) e sendo desobstruídas as direções de maior irradiação, as zonas de exclusão normalmente estão substancialmente afastadas dos locais onde possam haver pessoas.

Isto se verifica mesmo em comparação com as normas mais restritivas, indicando então que estas podem ser adotadas sem inviabilizar a operação dos sistemas. Desta forma são resguardados os requisitos de adequada cobertura e qualidade de sinal, e, ao mesmo tempo, são contempladas as preocupações de precaução quanto aos possíveis riscos à saúde devidos as radiações não ionizantes.

Foram também resumidos a simulação da SAR absorvida na cabeça do usuário de telefones móveis (adultos e crianças), dos campos irradiados nas regiões próxima e distante com antenas convencionais e com antenas planares, bem como o projeto, as estimativas teóricas e as medidas em uma antena planar simples em *microstrip*, tipo *patch* retangular, para a faixa de 1,9 GHz. O método FDTD foi utilizado para determinar o diagrama de irradiação no plano horizontal e os

valores dos campos irradiados na região de campo próximo. Observa-se que quando não existe efetivo aterramento do plano de terra (situação análoga à da operação típica de um telefone celular), os resultados para o diagrama de irradiação medidos foram bastante próximos aos simulados usando o método FDTD. Observa-se, p.ex., relação frente — costas da ordem de 10 dB, e abertura de feixe de meia potência da ordem de 150°. Isto resulta numa redução da SAR na cabeça a um valor que pode ser suficiente para o atendimento das normas mais difundidas [ICNIRP, 1995; IEEE, 1991].

É importante ressaltar que os modelamentos (exatos) mostram que por algumas razões os efeitos em crianças e adolescentes podem ser substancialmente mais críticos que em adultos, especialmente porque nas crianças e adolescentes observa-se espessura menor do crânio, atenuando menos a onda antes que atinja o cérebro, maior penetração, uma vez que a onda atinge a regiões mais internas do cérebro. Além disto, nas crianças verifica-se que o metabolismo é mais rápido (as células se reproduzem mais rapidamente, daí quaisquer efeitos danosos devem ser mais críticos),. Também, normalmente as recomendações de prudência e cautela são menos consideradas.

As antenas planares, apresentando moderada diretividade, sendo pequenas, compactas, integráveis na caixa do transceptor e de baixo custo, poderão se constituir em alternativa desejada para utilização em futuras gerações de transceptores móveis, com uma melhoria na qualidade do sinal, redução no consumo da bateria, e redução do risco à saúde dos usuários. Isto torna-se importante, especialmente porque as normas internacionais mais difundidas consideram unicamente os efeitos térmicos. Daí, caso os efeitos não térmicos sejam efetivamente reconhecidos, então os limites de exposição deverão se tornar substancialmente mais restritivos, tornando ainda mais recomendável a utilização de antenas diretivas. Isto deverá ser acompanhado de outras providências objetivando a redução dos níveis irradiados na direção da cabeça do usuário, e visando o atendimento ao Princípio da Precaução.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Paulo Serafini, aos professores Jorge Amoretti Lisbôa e Francisco de Assis Tejo, e aos alunos Giovani Bulla e Martin Elbern, por suas importantes colaborações em diferentes etapas deste trabalho.

Referências

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR IEC 60601-1-2: Equipamento Eletromédico Norma Colateral: Compatibilidade Eletromagnética Prescrições e Ensaios, Out 1997.
- ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na faixa de Radiofreqüências entre 9 kHz e 300 GHz. Brasilia 2002 Jun 2; anexo à Resolução nº 303.
- Ansoft. Ensemble: 3D, electromagnetic, Method of Moments simulation tool for high-frequency design. Available from: http://www.ansoft.com/news/press_release/ensemble_sv_11 00.cfm
- Balanis C. Antenna Theory Analysis and Design. New York: John Wiley & Sons; 1997, ISBN 0-471-59268-4.
- Bérenger JP. Improved PML for the FDTD Solution of Wave-Structure Interaction Problems. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 1997 Mar; v. 45, n. 3, p. 466-473.
- Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S and Piuzzi E. Power absorption and temperature elevation induced in the human head by a dual-hand monopole-helix antenna phone. IEEE

- Transactions on Microwave Theory and Techniques 2001 Dec; v. 49, n. 12, p. 2539-46.
- Bernhart JH. Non-Ionizing Radiation Safety: Radiofrequency Radiation, Electric and Magnetic Fields. Physics on Medicine and Biology 1992; v. 37, n. 4, p. 807-844.
- Bronzino JD, ed. *The Biomedical Engineering Handbook*. N. York: CRC Press & IEEE Press; 1995, p. 1380-1440.
- Bruntland GH. WHO's Bruntland Backs Repacholi's EMF Project. Em Microwave News, v. XXII, n. 4, July/August 2002, p. 8.
- CENELEC (Comité Européen de Normalisation en Électronique et en Électrotechnique). Basic Standard for the Measurement of Specific Absorption Rate Related to Human Exposure to Electromagnetic Fields from Mobile Phones (300 MHz 3 GHz). Brussels: CENELEC 2000 Apr; Rev. Final Draft, TC-211.
- Chung YS, Sarkar TK, Jung BH and Salazar-Palma M., An Unconditionally Stable Scheme for the Finite-Difference Time-Domain Method. IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. 2003 Mar; v. 51, n.3, p. 697-704.
- head by a dual-band monopole-helix antenna phone. IEEE de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil

- M, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, Jones D and Candido P. Non-Thermal Heat-Shock Response to Microwaves. Nature 2000 May; v. 405, n. 25, p. 417-8.
- de Pomerai D, Daniells C, David H, Allan J, Duce I, Mutwakil M, Thomas D, Sewell P, Tattersall J, Jones D and Candido P. Microwave Radiation Induces a Heat-Shock Response and Enhances Growth in the Nematode *Caenorhabditis Elegans*. IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech. 2000 Nov; v. 48, n. 11, p. 2076-2081.
- Dimbylow PJ and Gandhi OP. Finite-Difference Time-Domain Calculations of SAR in a Realistic Heterogeneous Model of the Head for Plane-Wave Exposure from 600 MHz to 3 GHz. Physics in Medicine and Biology.1991 Aug; v. 36, n. 1, p.1075-89.
- Fernández, C. R., Bulla, G., Pedra, A. C., Salles, A. A. A., Comparison of Electromagnetic Absorption Characteristics in the Head of Adult and Children for 1800 MHz Mobile Phones, IMOC 2005, Brasilia, DF, 25-29 jul 2005.
- FCC (Federal Communications Commission). OET (Office of Engineering & Technology) Bulletin 65 2001 Jun Available from: www.fcc.gov/oet/
- Fischetti M. The Cellular Phone Scare. IEEE Spectrum 1993 Jun; v.30 n.6, p. 43-47.
- Friis HT. A Note on a Simple Transmission Formula Proceedings of IRE, v. 34, May 1946.
- Gandhi, O. P., G. Lazzi and C.M. Furse, "Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz", IEEE Trans. on MTT, vol. 44, No. 10, October 1996, pp.1884-1897
- Garg R, Bhartia P, Bahl I and Ittipiboon A. Microstrip Antenna Design Handbook. London: Artech House; 2001, ISBN: 0-890-06513-6
- Grant LJ. Practical Aspects of Non-Ionizing Radiation Protection. Leeds, UK: The Hospital 'Physicists' Association; 1981.
- Holma H and Toskala A, editors. WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications. New York: John Wiley & Sons; 2000, ASIN: 0471720518
- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz). Health Physics 1998 Apr; v. 74, n. 4, p. 494-522.
- IEEE/ANSI (The Institute of Electrical and Electronics Engineers/American National Standards Institute). IEEE C95.1-1991: IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. New York: The IEEE Inc.; 1992.
- IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers).

 IEEE P.1528: IEEE Recommend Practice for Methods for
 Testing Specific Absorption Rate (SAR) of Wireless
 Handsets. New York: The IEEE Inc.; 2001.
- Iskander MF, Yun Z and Quintero-Illera R. Polarization and human body effects on the microwave absorption in a human head exposed to radiation from hand held devices. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 2000 Nov; v. 48, n. 11, p. 1979-87.
- Itália 1998 Ministerio dell' Ambiente, Decreto 10 settembre 1998, n° 381 -Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana pubblicato sulla G.U. n° 257, 03 Nov 1998.
- Jensen MA and Rahmat-Samii Y. EM interaction of handset antennas and a human in personal communications. Proceedings of the IEEE 1995 Jan; v. 83, n. 1, p. 7-17.
- Kaneda N, Deal WR, Qian Y, Waterhouse R and Itoh T. A Broad Band Planar Quasi Yagi Antenna IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2002 Aug; v. 50, n. 8, p. 1158-60.
- Lazzi G, Furse CM and Gandhi OP. Optimization and Design of

- Conductivity Profiles for the PML Boundary Condition and Its Application to Bioelectromagnetic Problems. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 1997 Jul 13-18; Montreal (Canada); v.1 p.486-489
- Liu QH and He JQ. An efficient PSTD Algorithm for Cylindrical Coordinates. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2001 Sept; v. 49, n. 9, p. 1349-51.
- Mur G. Absorbing boundary conditions for the finite-difference approximation of the time-domain electromagnetic field equations. IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility 1981 Nov; v.23, n.4, p. 377-382.
- Nakano H, Yasui H and Yamauchi J. Numerical Analysis of Two Arm Spiral Antennas Printed on a Finite Size Dielectric Substrate. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2002 Mar; v. 50, n. 3, p. 362-370.
- NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) Environmental Health Perspectives, 2003 Apr. Available from: www.ehponline.org (Salford).
- Nielsen J, Pedersen G, Olesen K and Kóvacs I. Statistics of Measured Body Loss for Mobile Phones. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2001 Sept; v. 49, n. 9, p. 1351-3.
- Okoniewski M and Stuchly MA. A study of the handset antenna and human body interaction. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 1996 Oct; v. 44, n. 10, p.1855-64.
- Reflex Progress Summary, disponivel em http://www.itis.ethz.ch/downloads/REFLEX_ProgressSumm ary.pdf
- Romeu J and Soler J. Generalizad Sierpinski Fractal Multiband Antenna. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2001 Aug; v. 49, n. 8, p. 1237-9.
- Salles AAA. Efeitos Biológicos dos Telefones Celulares Portáteis. Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações 1996 Dez; v. 11, n. 1, p. 71-80.
- Salles AAA, Lisboa JA, Fernández C e Neves ES. Estimativas Teóricas e medidas dos Campos Irradiados por Estações Rádio Base. In: Gomes A editor. SBMO2000. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica; 2000 Ago 07-11; João Pessoa (PB); 2000: v.1 p.473-477.
- Salles AAA, Fernández C e Bonadiman M. Distância da Antena e Potência Absorvida na Cabeça do Usuário de Telefone Celular Portátil. Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações 2001 Jun; v. 16, n. 1, p. 16-28.
- Salles AAA, Fernández C e Bonadiman M. Simulação do Campo Distante e da SAR na Cabeça do Usuário do Telefone Celular para Antenas Convencionais e Planares. In: Fontana E and de Oliveira AJB, editores. SBMO2002. Anais do X Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica; 2002 Ago 12-16; Recife (PE); 2002: v.1 p.347-351.
- Salles AAA, Fernández C and Bonadiman M. Far Field, Near Field and SAR Simulation for Cell Phones Operating Close to the Head. In: Fernandes HCC, editors. ITS2002.
 Proceedings of the IEEE COMSOC International Telecommunications Symposium; 2002 Sept 8-12; Natal (RN), Brazil; 2002: v.1.
- Stuchly MA. Mobile Communication Systems and Biological Effects on their Users. The Radio Science Bulletin 1995 Dec; n. 275, p. 7-13.
- Suiça 1999 Switzerland Federal Agency for Environment, Forests and Landscape, Ordinance on Non-Ionizing Radiation Protection nº 814.710, December 23, 1999, Art. 64.a.p. 14.
- Sullivan D and Young JL. Far Field Time Domain Calculations from Aperture Radiators Using the FDTD Method. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2001 Mar; v. 49, n.3, p. 464-9.
- Taflove A. Advances in Computational Electrodynamics the Finite Difference Time Domain Method. London: Artech

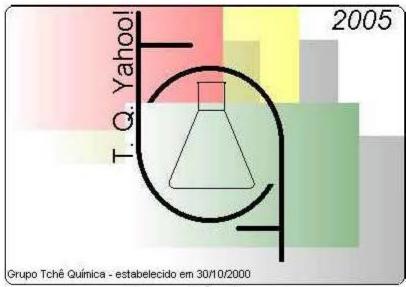
House; 1998, ISBN 0-89006-834-8.

Watanabe S, Taki M, Nojima T and Fujiwara O. Characteristics of the SAR Distributions in a Head Exposed to Electromagnetic Fields Radiated by a Hand-Held Portable Radio. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 1996 Oct; v. 44, n. 10, p. 1874-83.

WHO (World Health Organization). Electromagnetic Fields.
Available from: http://www.who.int/pch-cmf/en/index.html
WHO (World Health Organization). Application of the

Precautionary Principle to EMF. Buropean Commission Meeting. 2003 Fev 24-26, Luxemburg Available from; http://www.wbo.int/peh-emf/meetings/archive/en/ , também em: Microwave News, v. XXIII, n. 2, March/April 2003, p. 1

Yeng F, Zheng XX, Ye X and Rahmat-Samii Y. Wide Band E-Shaped Patch Antennas for Wireless Communications. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 2001 Jul; v. 49, n. 7, p. 1094-1100.



Visite nosso Yahoo Group em: http://br.groups.yahoo.com/group/tchequimica/

Novidade para próxima edição

O Grupo Tchê Química está abrindo uma seção de cartas na revista. Então, se você quiser comentar algum artigo, fazer alguma sugestão ou reclamação, por favor escreva para o seguinte endereço: tchequimica@tchequimica.com e no campo assunto da mensagem coloque o título de "carta para revista".

Periódico Tchê Química, Porto Alegre: Grupo Tchê Química v. 2, n.4, Ago. 2005