



DIRETRIZES PARA LIMITAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELÉTRICOS, MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz)

O Conselho Diretor da ANATEL, em sua reunião de 15 de julho de 1999, decidiu adotar, como referência provisória para avaliação da exposição humana a campos eletromagnéticos de radiofrequência provenientes de estações transmissoras de serviços de telecomunicações, os limites propostos pela Comissão Internacional para Proteção Contra Radiações Não Ionizantes – ICNIRP.

Os limites mencionados constam da publicação “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics Vol. 74, N° 4, pp 494-522, 1998”, cuja tradução e reprodução foi realizada com a permissão da Health Physics Society.

A tradução para o português, da mencionada publicação, foi contratada junto à Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética – Abricem, tendo sido realizada pelo Grupo de Trabalho de Efeitos Biológicos daquela entidade.

Revisões deste documento serão implementadas no site da ANATEL na Internet. A versão impressa não sofrerá novas emissões.

Informações adicionais e eventuais esclarecimentos poderão ser obtidos através dos seguintes endereços:

Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel
Superintendência de Radiofrequência e Fiscalização
SAS – Quadra 6 – Bloco H – Edifício Ministro Sérgio Motta – 2º andar – Biblioteca
70313-900 – Brasília-DF
Fax: (0xx) 61 312-2002
E-mail: biblioteca@anatel.gov.br

Brasília, dezembro de 1999

DIRETRIZES PARA LIMITAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELÉTRICOS, MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz)

Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes¹

INTRODUÇÃO

Em 1974, a Associação Internacional de Proteção a Radiações (IRPA) organizou um grupo de trabalho sobre radiação não ionizante (RNI), que investigou os problemas originados no campo da proteção contra os vários tipos de RNI. No Congresso da IRPA em Paris em 1977, este grupo de trabalho tornou-se a Comissão Internacional de Radiações Não Ionizantes (International Non-Ionizing Radiation Committee (INIRC)).

Em colaboração com a Divisão de Saúde Ambiental da Organização Mundial de Saúde (OMS), a IRPA/INIRC desenvolveu vários documentos contendo critérios de saúde, como parte do Programa de Critérios de Saúde Ambiental da OMS, patrocinado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (United Nations Environmental Programme - UNEP). Cada documento inclui uma visão geral das características físicas, técnicas de medição e instrumentação, fontes e aplicações de RNI, uma análise completa da literatura sobre efeitos biológicos, e uma avaliação dos riscos de saúde devidos à exposição a RNI. Estes critérios de saúde proporcionaram uma base de dados científica para posterior desenvolvimento dos limites de exposição e dos procedimentos relacionados a RNI.

Durante o Oitavo Congresso Internacional da IRPA (Montreal, de 18 a 22 de maio de 1992), foi criada uma nova organização científica internacional independente — a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)), que sucedeu à IRPA/INIRC. As funções da Comissão são: investigar os perigos que podem ser associados com as diferentes formas de RNI, desenvolver diretrizes internacionais

¹ ICNIRP Secretariat, c/o Dipl.-Ing. Rüdiger Matthes, Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene, Ingolstädter Landstrasse 1, D-85764 Oberschleissheim, Germany.

Durante a preparação destas diretrizes, a Comissão foi constituída por: A. Ahlbom (Suécia); u. Bergqvist (Suécia); J.H. Bernhardt, Presidente desde maio 1996 (Alemanha); J.P. Césarini (França); L. A. Court, até maio de 1996 (França); M. Grandolfo, Vice-Presidente até abril de 1996 (Itália); M. Hietanen, desde de maio de 1996 (Finlândia); A.F. McKinlay, Vice-Presidente desde maio de 1996 (Reino Unido); M.H. Repacholi, Presidente até 1996, Presidente emérito desde maio de 1996 (Austrália); D.H. Sliney (Estado Unidos); J.A.J. Stolwijk (Estados Unidos); M.L. Swicord, até maio de 1996 (Estados Unidos); L.D. Szabo (Hungria); M. Taki (Japão); T.S. Tenforde (Estados Unidos); H.P. Jammet (membro emérito, falecido) (França); R. Matthes, Secretário Científico (Alemanha).

Durante a preparação deste documento, a ICNIRP recebeu o apoio de especialistas estrangeiros: S. Allen (Reino Unido); J.Brix (Alemanha); S. Eggert (Alemanha); H.Garn (Áustria); K. Jokela (Finlândia); H. Korniewicz (Polónia); G.F. Mariutti (Itália); R. Saunders (Reino Unido); S. Tofani (Itália); P. Vecchia (Itália); E. Vogel (Alemanha). Agradecemos, com reconhecimento, os muitos comentários valiosos feitos por outros especialistas internacionais.

sobre limites de exposição a RNI e também tratar de todos os aspectos da proteção a RNI.

Efeitos biológicos, relatados como resultantes da exposição a campos elétricos e magnéticos estáticos e de frequência extremamente baixa (ELF), foram revisados por UNEP/WHO/IRPA (1984, 1987). Essas publicações e muitas outras, incluindo-se UNEP/WHO/IRPA (1993) e Allen et al (1991), proporcionaram a base científica para estas diretrizes.

Um glossário de termos pode ser encontrado no Apêndice.

OBJETIVOS E ALCANCE

O principal objetivo desta publicação é estabelecer as diretrizes para limitar a exposição a CEM, de forma a proteger contra efeitos reconhecidamente adversos à saúde. Um efeito adverso causa prejuízo à saúde, detectável no indivíduo exposto, ou em sua descendência; um efeito biológico, por outro lado, pode ou não resultar em um efeito adverso à saúde.

São descritos estudos sobre efeitos diretos e indiretos de CEM. 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. São discutidas conclusões de estudos de laboratório e epidemiológicos, critérios básicos de exposição e níveis referenciais para a avaliação prática de riscos. As diretrizes apresentadas referem-se às exposições de caráter ocupacional e público.

Diretrizes referentes a alta frequência e a campos eletromagnéticos de 50/60 Hz, foram emitidas pela IRPA/INIRC em 1988 e 1990, respectivamente, mas foram substituídas por estas diretrizes, que abrangem a totalidade da faixa de frequências de CEM variáveis no tempo (até 300GHz). Campos magnéticos estáticos, são tratados nas diretrizes da ICNIRP publicadas em 1994 (ICNIRP 1994).

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.

São apresentadas duas categorias de orientações:

- **Restrições básicas:** Restrições na exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo, baseadas diretamente em efeitos conhecidos na saúde, são chamadas "restrições básicas".
Dependendo da frequência do campo, as grandezas físicas usadas para especificar estas restrições, são: densidade de corrente (J), taxa de absorção específica (SAR) e densidade de potência (S). Somente a densidade de potência no ar, fora do corpo, pode ser facilmente medida em indivíduos expostos.
- **Níveis de referência:** Estes níveis são estabelecidos com a finalidade prática de avaliar se a exposição tem a possibilidade de superar as restrições básicas. Alguns

níveis de referência são derivados das restrições básicas pertinentes, usando medidas e/ou técnicas computacionais e alguns outros tratam da percepção e dos efeitos nocivos indiretos da exposição a CEM. As grandezas físicas derivadas são: campo elétrico (E), campo magnético (H), densidade de fluxo magnético (B), densidade de potência (S) e correntes percorrendo os membros (I_L). Grandezas físicas que tratam da percepção e de outros efeitos indiretos são: corrente de contato (I_C) e, para campos pulsados, absorção específica (SA). Em qualquer situação particular de exposição, valores calculados, ou medidos, de quaisquer destas grandezas, podem ser comparados com o nível referencial apropriado. O atendimento ao nível de referência assegura o atendimento à restrição básica pertinente. Quando ocorre que o valor medido, ou calculado, excede o valor de referência, isto não significa necessariamente que a restrição básica é excedida. Entretanto, sempre que o nível de referência for excedido, deve-se avaliar se as restrições básicas pertinentes são atendidas, e determinar se são necessárias medidas adicionais de proteção.

Estas diretrizes não tratam diretamente de padrões de desempenho de produtos, destinados a limitar a emissão de CEM sob condições específicas de testes; e nem este documento trata de técnicas usadas para medir quaisquer das grandezas físicas que caracterizam campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos. Uma ampla descrição da instrumentação e das técnicas de medição para a determinação precisa de tais grandezas físicas, pode ser encontrada em outras fontes (NCRP 1981; IEEE 1992; NCRP 1993; DIN VDE 1995).

A conformidade com a presente diretriz, não garante que sejam evitadas interferências ou efeitos em dispositivos médicos, como próteses metálicas, marca-passos cardíacos, desfibriladores e implantes cocleares. A interferência em marca-passos pode ocorrer mesmo em níveis abaixo dos níveis de referência recomendados. Está fora da esfera deste documento recomendar como evitar estes problemas, embora isto possa ser encontrado nas referências (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Estas diretrizes serão periodicamente revisadas e atualizadas, assim que sejam feitos avanços na identificação de efeitos prejudiciais à saúde, devidos a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo.

GRANDEZAS E UNIDADES

Enquanto que os campos elétricos são associados somente com a presença de carga elétrica, os campos magnéticos resultam do movimento físico da carga elétrica (corrente elétrica).

Um campo elétrico E, exerce forças sobre uma carga elétrica, e é expresso em volt por metro ($V.m^{-1}$).

Similarmente, campos magnéticos podem exercer forças físicas sobre cargas elétricas, mas somente quando tais cargas estão em movimento. Campos elétricos e magnéticos têm amplitude e direção (i.e. são grandezas vetoriais). Um campo magnético pode ser especificado em duas maneiras — como fluxo de densidade magnética B, expressa em tesla (T), ou como campo magnético H, expresso em ampère por metro ($A.m^{-1}$). As duas quantidades são relacionadas pela fórmula:

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}, \quad (1)$$

onde μ é a constante de proporcionalidade (permeabilidade magnética). No vácuo e no ar, bem como em materiais não magnéticos (inclusive meios biológicos), μ tem o valor $4\pi \cdot 10^{-7}$ quando expresso em henry por metro ($\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$).

Portanto, na descrição de um campo magnético, para finalidades de proteção, basta especificar uma das grandezas, **B** ou **H**.

Numa região de campo distante, o modelo de onda plana é uma boa aproximação para a propagação do campo eletromagnético. As características da onda plana são:

- as frentes de onda têm uma geometria plana;
- os vetores **E** e **H** e a direção de propagação são mutuamente perpendiculares;
- a fase dos campos **E** e **H** é a mesma, e o quociente da amplitude de **E** e **H** é constante através do espaço. No espaço livre (vácuo), o quociente **E/H** é igual a 377 ohm, que é o valor da impedância característica do espaço livre;
- a densidade de potência **S**, i.e., a potência por unidade de área normal à direção de propagação, está relacionada aos campos elétrico e magnético, pela expressão

$$\mathbf{S} = \mathbf{E}\mathbf{H} = E^2/377 = 377 H^2 \quad (2)$$

A situação na região de campo próximo é bem mais complicada, porque os valores máximo e mínimo dos campos **E** e **H** não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação, como acontece na região de campo distante. Na região de campo próximo, a estrutura do campo eletromagnético pode não ser homogênea, e pode haver variações substanciais no valor da impedância de onda (377Ω no campo distante); i.e., poderá haver quase exclusivamente campos **E** em algumas regiões e campos **H** em outras.

Tabela 1 – Grandezas elétricas, eletromagnéticas, dosimétricas e unidades correspondentes SI

Grandeza	Símbolo	Unidade
Condutividade	σ	Siemens por metro ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$)
Corrente	I	Ampère (A)
Densidade da corrente	J	Ampère por m^2 ($\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$)
Freqüência	<i>f</i>	Hertz (Hz)
Campo elétrico	E	Volt por metro ($\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$)
Campo magnético	H	Ampère por metro ($\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$)
Densidade de Fluxo magnético	B	Tesla (T)
Permeabilidade magnética	μ	Henry por metro ($\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$)
Permissividade	ϵ	Farad por metro ($\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$)
Densidade de Potência	S	Watt por m^2 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
Absorção específica	SA	Joule por kg ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Taxa de absorção específica	SAR	Watt por kg ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Exposições em campos próximos são mais difíceis de especificar, porque ambos os campos E e H devem ser medidos e porque os padrões dos campos são mais complicados; nesta situação, a densidade de potência não é mais uma quantidade apropriada para exprimir restrições à exposição (como ocorre no campo distante).

A exposição a CEM variáveis no tempo, resulta em correntes internas no corpo e absorção de energia nos tecidos, que dependem dos mecanismos de acoplamento e da frequência envolvida.

O campo elétrico interno e a densidade de corrente estão relacionados pela Lei de Ohm :

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}, \quad (3)$$

onde σ é a condutividade elétrica do meio. As quantidades dosimétricas usadas nestas diretrizes, levando em conta diferentes faixas de frequências e formas de ondas, são:

- Densidade de corrente, J, na faixa de frequências até 10 MHz;
- Corrente, I, na faixa de frequências até 110 MHz;
- Taxa de absorção específica, SAR, na faixa de frequências de 100 kHz – 10 GHz;
- Absorção específica, SA, para campos pulsados, na faixa de frequências de 300 MHz – 10 GHz; e
- Densidade de potência, S, na faixa de frequências de 10 – 300 GHz.

Um sumário geral das grandezas relacionadas com CEM e dosimetria, usadas nestas diretrizes, é apresentado na Tabela 1.

BASES PARA LIMITAR A EXPOSIÇÃO

Estas diretrizes para limitação da exposição foram desenvolvidas após uma análise abrangente de toda a literatura científica publicada. Os critérios aplicados durante a revisão, foram desenvolvidos para avaliar a credibilidade dos vários resultados relatados (Repacholi e Stolwijk, 1991; Repacholi e Cardis, 1997) e somente efeitos estabelecidos foram usados como base para as restrições da exposição propostas. A indução de câncer pela exposição de longa duração a CEM, não foi considerada estabelecida. Por essa razão, estas diretrizes são baseadas em efeitos na saúde de caráter imediato, a 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 a longo prazo, tais como aumento de risco de câncer, a 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 a densidade de fluxo magnético de 50/60 Hz em níveis substancialmente inferiores aos recomendados nestas diretrizes.

A seguir, são sumariados os efeitos de curto prazo da exposição “*in vitro*” a CEM de ELF, modulados, ou não, em amplitude. Têm sido observadas respostas a transitórios de CEM em células e em tecidos, mas sem uma clara relação entre exposição e resposta. Estes estudos são de valor limitado na avaliação dos efeitos na

saúde, porque muitas das respostas não têm sido demonstradas “*in vivo*”. Sendo assim, estudos “*in vitro*”, isoladamente, não foram considerados suficientes para prover os dados que podem servir como base primária para avaliar efeitos de CEM sobre a saúde.

MECANISMOS DE ACOPLAMENTO ENTRE CAMPOS E O CORPO HUMANO

Há três mecanismos básicos de acoplamento, bem estabelecidos, através dos quais campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo interagem diretamente com matéria viva (UNEP/WHO/IRPA 1993):

- acoplamento a campos elétricos de baixa frequência;
- acoplamento a campos magnéticos de baixa frequência; e
- absorção de energia de campos eletromagnéticos.

Acoplamento a campos elétricos de baixa frequência.

A interação de campos elétricos variáveis no tempo, com o corpo humano, resulta num fluxo de cargas elétricas (corrente elétrica), na polarização de cargas ligadas (formação de dipolos elétricos), e na reorientação dos dipolos elétricos já presentes no tecido. As amplitudes relativas destes diferentes efeitos dependem das propriedades elétricas do corpo, isto é, da condutividade elétrica (que rege o fluxo da corrente elétrica) e da permissividade (que rege a amplitude dos efeitos de polarização). A condutividade elétrica e a permissividade variam com o tipo do tecido do corpo e também dependem da frequência do campo aplicado. Os campos elétricos externos ao corpo, induzem no mesmo uma carga superficial; daí resultando correntes induzidas no corpo, cuja distribuição depende das condições de exposição, do tamanho e forma do corpo, e da posição deste no campo.

Acoplamento a campos magnéticos de baixa frequência

A interação física de campos magnéticos variáveis no tempo, com o corpo humano, resulta na indução de campos elétricos induzidos e correntes elétricas circulantes. As amplitudes dos campos induzidos e a densidade da corrente são proporcionais ao laço (caminho fechado) escolhido, à condutividade elétrica do tecido, à taxa de variação e à amplitude da densidade do fluxo magnético. Para uma dada amplitude e frequência do campo magnético, os campos elétricos mais intensos são induzidos onde as dimensões do laço são maiores; sendo que o caminho exato e a amplitude da corrente induzida em qualquer parte do corpo, dependerão da condutividade elétrica do tecido.

O corpo não é eletricamente homogêneo; entretanto as densidades de correntes induzidas podem ser calculadas, usando modelos que representam de maneira realística as propriedades anatômicas e elétricas do corpo e recorrendo a métodos computacionais que têm grau elevado de resolução anatômica.

Absorção da energia de campos eletromagnéticos

A exposição a campos elétricos e magnéticos de frequência baixa resulta normalmente em uma absorção de energia desprezível, sem elevação mensurável da temperatura do corpo. Entretanto, a exposição a campos eletromagnéticos de frequências acima de aproximadamente 100 kHz, pode conduzir a uma absorção

significativa de energia e a um aumento de temperatura. Em geral, a exposição a um campo eletromagnético uniforme (onda plana) resulta em uma deposição e distribuição de energia altamente não uniforme dentro do corpo, que precisa ser avaliada por medidas dosimétricas e por cálculos.

Com respeito à absorção da energia pelo corpo humano, os campos eletromagnéticos podem ser divididos em quatro faixas (Durney et al. 1985):

- frequências de aproximadamente 100 kHz a 20 MHz, nas quais a absorção no tronco decresce rapidamente com a frequência decrescente e pode ocorrer uma absorção significativa no pescoço e nas pernas;
- frequências de aproximadamente 20 MHz a 300 MHz, nas quais pode ocorrer uma absorção relativamente alta no corpo todo, e até mesmo valores mais altos, se forem consideradas ressonâncias em partes do corpo (p. ex.: na cabeça);
- frequências de aproximadamente 300 MHz a vários GHz, nas quais ocorre absorção local significativa e não uniforme; e
- frequências acima de 10 GHz, nas quais a absorção de energia ocorre principalmente na superfície do corpo.

Em tecidos, a SAR é proporcional ao quadrado da intensidade do campo elétrico interno. A SAR média e a distribuição da SAR, podem ser computadas ou estimadas a partir de medidas em laboratório. Os valores da SAR dependem dos seguintes fatores:

- parâmetros do campo incidente, i.e., frequência, intensidade, polarização, e a configuração fonte-objeto (campo próximo ou distante);
- características do corpo exposto, i.e., seu tamanho e geometria interna e externa, e as propriedades dielétricas dos vários tecidos; e
- efeitos de aterramento e reflexão de outros objetos no campo próximo ao corpo exposto.

Quando o eixo maior do corpo humano é paralelo ao vetor do campo elétrico, e sob condições de exposição de onda plana (i.e. exposição no campo distante), a SAR de corpo inteiro alcança valores máximos. A quantidade de energia absorvida depende de vários fatores, incluindo o tamanho do corpo exposto. O “Homem Padrão de Referência” (ICRP 1994), se não for aterrado, tem uma frequência ressonante de absorção perto de 70 MHz. Para indivíduos mais altos, a frequência ressonante de absorção é algo inferior, e para adultos mais baixos, crianças, bebês, e indivíduos sentados, pode ser superior a 100 MHz.

Os valores dos níveis de referência do campo elétrico, são baseados na dependência da absorção humana com a frequência; nos indivíduos aterrados, as frequências ressonantes são cerca de 2 vezes mais baixas (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Para alguns dispositivos que operam em frequências acima de 10 MHz (p. ex. aquecedores dielétricos, telefones móveis), a exposição humana pode ocorrer sob condições de campo próximo. A dependência da absorção de energia com a frequência, nestas condições, é muito diferente daquela descrita para as condições de campo distante. Campos magnéticos podem ser dominantes para alguns dispositivos, como telefones móveis, sob certas condições de exposição.

A modelagem numérica, bem como as medidas de correntes induzidas no corpo e da intensidade de campo em tecidos, para a avaliação da exposição em campos próximos, têm sido úteis no caso de telefones móveis, “walkie-talkies”, torres de radiodifusão, equipamento de comunicação a bordo de navios, e aquecedores dielétricos (Kuster e Balzano 1992; Dimbylow e Mann 1994; Jokela et al. 1995). A importância destes estudos reside no fato de terem demonstrado que a exposição na região de campo próximo pode resultar em valor elevado de SAR local (p.ex. na cabeça, nos pulsos e tornozelos) e que a SAR de corpo inteiro e local dependem consideravelmente da distância entre a fonte de alta frequência e o corpo. Finalmente, dados de SAR obtidos por medição, são consistentes com os dados obtidos a partir dos modelos numéricos. A SAR média para o corpo inteiro e a SAR local, são grandezas convenientes para a comparação de efeitos observados sob várias condições de exposição. Uma discussão detalhada sobre a SAR pode ser encontrada nas referências (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Nas frequências maiores que 10 GHz, a profundidade de penetração do campo dentro de tecidos é pequena e a SAR não é uma boa medida para avaliar a energia absorvida. Neste caso, a densidade de potência do campo incidente (em $W.m^{-2}$) é uma grandeza dosimétrica mais apropriada.

MECANISMOS DE ACOPLAMENTO INDIRETO

Há dois mecanismos de acoplamento indireto:

- correntes de contato, que resultam do contato do corpo humano com um objeto de potencial elétrico diferente (i.e., quando o corpo ou o objeto estão carregados por um CEM); e
- acoplamento do CEM a aparelhos médicos usados por indivíduos ou implantados nos mesmos (caso não tratado neste documento).

O carregamento de um objeto condutor por CEM, causa correntes elétricas que circulam através do corpo humano em contato com o objeto (Tenforde e Kaune 1987; UNEP/WHO/IRPA 1993). A amplitude e a distribuição espacial de tais correntes, dependem da frequência, do tamanho do objeto, do tamanho da pessoa e da área de contato. Podem ocorrer descargas transitórias – faíscas – quando se aproximam um indivíduo e um objeto condutor, expostos a um campo intenso.

BASES BIOLÓGICAS PARA LIMITAR A EXPOSIÇÃO (ATÉ 100 kHz)

Os parágrafos seguintes, apresentam um exame geral da literatura pertinente a efeitos biológicos e sobre a saúde, devidos à exposição a campos elétricos e magnéticos com frequências até 100 kHz, nas quais o principal mecanismo de interação é a indução de correntes em tecidos. As bases biológicas para as restrições básicas e para os níveis de referência, na faixa de frequências entre 0 e 1 Hz, são dadas em ICNIRP (1994). Exames mais detalhados, são encontrados nas referências (NRPB 1991, 1993; Blank 1995; NAS 1996; Polk e Postow 1996; Ueno 1996).

Efeitos diretos dos campos elétricos e magnéticos

Estudos epidemiológicos. Tem havido muitas resenhas de estudos epidemiológicos sobre o risco de câncer em relação à exposição a campos com a frequência da rede de distribuição de energia (50/60 Hz) (NRPB 1992, 1993 e 1994;

ORAU 1992; Savitz 1993; Heath 1996; Stevens e Davis 1996; Tenforde 1996; NAS 1996). Estudos similares têm sido publicados sobre o risco de efeitos adversos na reprodução humana, associados com a exposição a CEM (Chernoff et al. 1992; Brent et al. 1993; Shaw e Croen 1993; NAS 1996; Tenforde 1996).

Efeitos na Reprodução Humana. Estudos epidemiológicos sobre efeitos na gravidez, não têm fornecido nenhuma evidência consistente de efeitos adversos à gestação, em mulheres trabalhando com monitores de vídeo (Bergqvist 1993; Shaw e Croen 1993; NRPB 1994a; Tenforde 1996). Por exemplo, estudos combinados, comparando mulheres grávidas que usam monitores de vídeo, com mulheres que não usam, não revelaram nenhum excesso de risco de aborto espontâneo ou má formação, (Shaw e Croen 1993). Dois outros estudos concentraram-se em medidas reais dos campos elétricos e magnéticos emitidos por monitores de vídeo: um estudo, sugeriu uma associação entre campos magnéticos ELF e aborto (Lindholm et al. 1992), enquanto o outro estudo não verificou tal associação (Schnorr et al, 1991). De um estudo que incluiu um grande número de casos, com alto índice de participação e uma detalhada avaliação das exposições (Bracken et al. 1995), resultou que nem o peso de nascença, nem a taxa de crescimento intra-uterino, tinham relação com qualquer exposição a campos de frequência extremamente baixa. Conseqüências adversas não foram associadas com níveis mais altos de exposição. As medições de exposição incluíram a capacidade de corrente de linhas de transmissão fora das residências, medições de exposição individual por 7 dias, medições nas residências por 24 horas, e relatórios individuais sobre o uso de cobertores elétricos, colchões de água aquecida e monitores de vídeo. As informações disponíveis mais recentes, em sua maioria, não apoiam uma associação entre exposição ocupacional a monitores de vídeo e efeitos nocivos à reprodução (NRPB 1994a; Tenforde 1996).

Estudos de câncer em residências. Há uma controvérsia considerável sobre a possibilidade de uma ligação entre exposição a campos magnéticos ELF e um risco elevado de câncer. Muitos relatórios sobre este assunto têm aparecido desde que Wertheimer e Leeper reportaram (1979) uma associação entre mortalidade por câncer infantil e a proximidade de casas às linhas de distribuição de energia, que os pesquisadores classificam como “configuração de correntes elevadas”.

A hipótese básica que emergiu do estudo original, foi a de que a contribuição à intensidade dos campos magnéticos de 50/60 Hz, no ambiente residencial, devidos a fontes externas, tais como linhas de transmissão, poderia estar relacionada ao risco de câncer na infância.

Até o presente, houve mais de uma dúzia de estudos sobre câncer na infância e exposição a campos magnéticos de 50/60 Hz, devidos a linhas de transmissão nas proximidades de residências. Estes estudos estimaram a exposição ao campo magnético a partir de medidas de curto prazo, ou com base na distância entre a residência e a linha de transmissão e, na maioria dos casos, a partir da configuração da linha. Alguns estudos também levaram em conta a carga da linha. Os resultados relacionados a leucemia são os mais consistentes. De 13 estudos publicados (Wertheimer e Leeper 1979; Fulton et al. 1980; Myers et al. 1985; Tomenius 1986; Savitz et al. 1988; Coleman et al. 1989; London et al. 1991; Feychting and Ahlbom 1993; Olsen et al 1993; Verkasalo et al 1993; Michaelis et al. 1997; Linet et al. 1997; Tynes e Haldorsen 1997), todos, exceto 5, acusaram estimativas de riscos relativos entre 1,5 e 3,0.

Tanto as medições diretas dos campos magnéticos, quanto as estimativas baseadas na proximidade de linhas de transmissão, são procedimentos imprecisos e substitutos para avaliar a exposição que ocorreu em várias situações, antes que fossem diagnosticados os casos de leucemia, e não é claro qual dos dois métodos oferece a estimativa mais válida. Embora os resultados sugiram que realmente o campo magnético pode representar um papel na associação com o risco de leucemia, há uma incerteza por causa do pequeno número de amostras e devido à dependência entre o campo magnético e a proximidade a linhas de transmissão (Feychting et al. 1996).

Pouco é conhecido sobre a etiologia da maioria dos tipos de câncer infantil, mas muitas tentativas de controle de outros fatores potenciais, como condição sócio-econômica e poluição do ar proveniente da fumaça de escapamentos, têm tido pouca influência nos resultados. Estudos que examinaram o uso de aparelhos eletrodomésticos (principalmente cobertores elétricos), em relação a câncer e outros problemas de saúde, geralmente relataram resultados negativos (Preston-Martin et al. 1988; Verreault et al. 1990; Vena et al. 1991, 1994; Li et al. 1995). Somente dois estudos de casos controlados avaliaram o uso de eletrodomésticos em relação ao risco de leucemia na infância. Um foi realizado em Denver (Savitz et al. 1990) e sugeriu uma ligação com o uso pré-natal de cobertores elétricos; o outro, feito em Los Angeles (London et al. 1991), encontrou uma associação entre leucemia e crianças que usam secadores de cabelo e assistem televisão em receptores monocromáticos.

O fato de que os resultados relacionando leucemia à proximidade entre residências e linhas de transmissão, são relativamente consistentes, levou o Comitê da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos (NAS) a concluir que as crianças morando perto de linhas de transmissão parecem estar expostas a um maior risco de leucemia. Devido à pequena amostragem, os intervalos de confiança, nos estudos individuais, são amplos; quando considerados em conjunto. Entretanto, os resultados são consistentes, com um risco associado relativo de 1,5 (NAS 1996). Em contraste, as medições de curto prazo do campo magnético em alguns dos estudos, não forneceram nenhuma evidência de uma associação entre exposição a campos de 50/60 Hz e o risco de leucemia, ou de outro tipo de câncer, em crianças. O Comitê não se convenceu de que este aumento de risco foi explicado pela exposição a campos magnéticos, pois não houve nenhuma associação aparente quando a exposição foi estimada pela leitura de medidores de campos magnéticos, tanto nas residências com casos de leucemia, como nas residências de controle. Foi sugerido que a explicação poderia estar na junção de algum outro fator de risco de leucemia na infância, associado com a residência na vizinhança de linhas de transmissão. Entretanto, não foi apresentada uma hipótese plausível.

Após o Comitê da NAS ter completado sua revisão, foram relatados os resultados de um estudo na Noruega (Tynes e Haldorsen 1997). Este estudo incluiu 500 casos de todo tipo de câncer infantil. A exposição de cada indivíduo foi estimada pelo cálculo do nível do campo magnético produzido na residência por linhas de transmissão na vizinhança, estimativa essa feita pela média do ano inteiro. Não foi observada nenhuma associação entre o risco de leucemia e campos magnéticos, para residentes na época do diagnóstico. A distância da linha de transmissão, exposição durante o primeiro ano de vida, a exposição das mães durante a gravidez, e a exposição maior que a mediana do grupo de controle, não demonstraram nenhuma

associação com a leucemia, câncer do cérebro, ou linfoma. Contudo, o número de casos expostos foi pequeno.

Também foi publicado um estudo feito na Alemanha, depois da conclusão da revisão da NAS (Michaelis, et al. 1997). Este foi um estudo de casos controlados sobre leucemia na infância, baseado em 129 casos e um grupo de controle de 328 indivíduos. A avaliação da exposição compreendeu medições de campo magnético por mais de 24 horas no quarto de dormir da criança, na residência em que ela havia morado por mais tempo, antes da data do diagnóstico. Foi notado um elevado risco relativo, de 3,2, para campos mais intensos do que $0,2 \mu\text{T}$.

Foi publicado por Linet et al (1997) um extenso estudo de casos controlados, nos Estados Unidos (638 casos e 620 indivíduos de controle), para testar se a leucemia linfóide aguda na infância está associada à exposição a campos magnéticos de 60 Hz. As exposições a campos magnéticos foram determinadas usando a média de medições, ponderadas pelo tempo, efetuadas durante 24 h no quarto de dormir e medições de 30 segundos em vários outros quartos. Também foram feitas medições nas residências em que a criança havia morado por 70% dos 5 anos anteriores ao ano do diagnóstico, ou o período correspondente para o grupo de controle. Para pares de casos e controles com residência estável, nos quais ambos não haviam mudado de residência durante os anos anteriores ao diagnóstico, foi avaliada a “configuração dos condutores” das linhas de distribuição (N.T. : “wire code” – conceito que inclui dimensões, número, tipo e distância da residência, de condutores externos à mesma), como forma indireta de avaliação da exposição. Essas determinações puderam ser feitas para 416 pares. Não houve nenhuma indicação de uma associação entre a configuração de condutores da linha e leucemia. Quanto às medições de campos magnéticos, os resultados são mais intrigantes. Para o limite de $0,2 \mu\text{T}$, a análise de risco para os casos relacionados e não relacionados, resultou nos valores de 1,2 e 1,5, respectivamente. Para o limite de $0,3 \mu\text{T}$, o risco relativo de casos não relacionados é 1,7, baseado em 45 casos estudados. Assim, os resultados de medições sugerem uma associação positiva, entre os campos magnéticos e o risco de leucemia. Este estudo constitui uma contribuição importante, em termos de seu tamanho, número de indivíduos em categorias de exposição elevada, período entre as medições e a ocorrência da leucemia (usualmente dentro de 24 meses após o diagnóstico), outras medidas usadas para obter dados de exposição e qualidade da análise, permitindo avaliar a presença de múltiplos fatores interferentes. As fraquezas potenciais do estudo incluem o procedimento para seleção do grupo de controle, índices de participação, e os métodos usados para análise estatística dos dados. Os instrumentos usados para as medições não levaram em conta os campos transitórios ou harmônicos de ordem mais elevada. A extensão deste estudo é tal, que seus resultados, combinados com aqueles de outros estudos, poderiam enfraquecer de forma significativa (embora não necessariamente invalidado) a associação anteriormente mente observada com a configuração de condutores das linhas.

Nos últimos anos, tem havido interesse substancial também na associação entre a exposição a campo magnético e câncer de cérebro em crianças, o segundo tipo mais freqüente de câncer infantil. Três estudos recentes, completados depois da revisão do Comitê NAS, não dão suporte à existência de uma associação entre câncer de cérebro e exposição de crianças a campos magnéticos, tanto no caso das fontes dos campos serem linhas de transmissão, ou cobertores elétricos, como no caso dos campos magnéticos terem sido estimados por cálculos, ou por configurações dos condutores elétricos (Guénel et al. 1996; Preston - Martin et al. 1996a, Tynes and Haldorsen 1997).

Os dados procurando relacionar câncer em adultos e exposição residencial a campos magnéticos, são escassos (NAS 1996). Nenhuma conclusão pode ser extraída dos poucos estudos publicados até agora, já que todos representam um número muito pequeno de casos examinados. (Wertheimer e Leeper 1979; McDowall 1985; Seversen et al. 1988; Coleman et al 1989; Schreiber et al. 1983; Feychting e Ahlbom 1994; Li et al. 1996; Verkasalo 1996; Verkasalo et al 1996).

A ICNIRP entende que, na ausência de apoio em pesquisa experimental, os resultados de pesquisas epidemiológicas sobre exposição a CEM e câncer, inclusive leucemia infantil, não são suficientemente seguros, para poder servir de base científica a diretrizes de exposição. Esta avaliação está de acordo com publicações recentes (NRPB 1992, 1994b; NAS 1996; CRP 1997).

Estudos ocupacionais. Um grande número de estudos epidemiológicos tem sido realizado para avaliar as possíveis ligações entre exposição a campos de ELF e o risco de câncer entre trabalhadores do setor elétrico. O primeiro estudo deste tipo (Millan 1982) utilizou uma base de dados fundamentada em certificados de óbito, que incluía tipos de emprego e informações sobre a mortalidade por câncer. Como método impreciso para avaliar a exposição, Milham classificou tipos de emprego de acordo com a exposição presumida a campo magnético e encontrou um excesso de risco para a leucemia, entre os trabalhadores do setor elétrico. Em estudos mais recentes (Savitz e Ahlbom 1994), que utilizaram bases de dados similares; os tipos de câncer, para os quais foram notados índices elevados, variaram nos diversos estudos, particularmente quando foram caracterizados os subtipos de câncer. Foram relatados aumentos de risco de vários tipos de leucemia e tumores de tecidos nervosos, e em alguns casos, de câncer de mama feminino e masculino (Demers et al. 1991; Matanoski et al. 1991; Tynes et al. 1992; Loomis et al. 1994). Além de produzir resultados até certo ponto inconsistentes, estes estudos apresentam a falha de terem recorrido a métodos imprecisos de avaliação da exposição e não terem controlado fatores interferentes, como, p. ex., a exposição ao solvente benzeno, no local de trabalho.

Três estudos mais recentes tentaram superar algumas das deficiências em trabalhos anteriores, medindo a exposição a campos ELF no local de trabalho e levando em conta a duração do trabalho (Floderus et al 1993; Thériault et al. 1994; Savitz e Loomis 1995). Foi observado um elevado risco de câncer entre os indivíduos expostos, sendo que o tipo de câncer variou de um estudo para o outro. Floderus et al. (1993) verificaram uma associação significativa com a leucemia; foi notada também uma associação, porém fraca e não significativa, por Theriault et al (1994), e nenhuma ligação foi observada por Savitz e Loomis (1995). Para os subtipos de leucemia, houve uma inconsistência ainda maior, mas o número de pacientes incluídos na análise foi pequeno. Floderus et al (1993) acharam um excesso de glioblastoma (astrocitoma III-IV) para tumores do tecido nervoso, enquanto Theriault et al (1994) e Savitz e Loomis (1995), acharam somente evidências sugestivas de um aumento de glioma (astrocitoma I-II). Se realmente houvesse uma ligação entre exposição ocupacional a campos magnéticos e câncer, dever-se-ia esperar uma consistência maior e também associações mais significativas, como resultado destes estudos recentes, baseados em dados de exposição mais sofisticados.

Foi também investigada a possibilidade de que campos elétricos ELF possam estar ligados ao câncer. As três concessionárias que participaram no estudo de campos magnéticos, realizado por Theriault et al (1994), também analisaram os dados

relativos a campos elétricos. Comparando trabalhadores do grupo de controle e trabalhadores com leucemia, numa das concessionárias, achou-se que estes últimos possivelmente teriam sido mais expostos a campos elétricos. Além do mais, a associação foi mais forte num grupo que havia sido exposto a uma combinação de campos elétricos e magnéticos intensos (Miller et al. 1996). Numa segunda concessionária, os pesquisadores não encontraram nenhuma associação entre leucemia e exposição cumulativa a campos elétricos no local de trabalho, mas algumas das análises mostraram uma associação com o câncer de cérebro (Guénel et al. 1996). Foi também relatada uma associação com o câncer de cólon; ainda assim, em outros estudos, com grande número de trabalhadores das concessionárias, não foi encontrado este tipo de câncer. Na terceira concessionária, não foi observada nenhuma associação entre campos elétricos intensos e câncer do cérebro ou leucemia, mas este estudo foi menos abrangente e com menor possibilidade para detectar pequenas alterações, caso estivessem presentes (Baris et al 1996).

Foi recentemente sugerida uma associação entre doença de Alzheimer e exposição ocupacional a campos magnéticos (Sobel e Davanipour 1996). Entretanto, este efeito ainda não foi confirmado.

Estudos em Laboratório. Os parágrafos seguintes, proporcionam um sumário e uma avaliação crítica de estudos em laboratório sobre efeitos biológicos de campos elétricos e magnéticos, com frequências abaixo de 100 kHz. Há discussões separadas sobre resultados obtidos em estudos com voluntários expostos em condições controladas e estudos em laboratório com sistemas celulares, tecidos e animais.

Estudos com Voluntários. A exposição a campos elétricos variáveis no tempo, pode resultar numa percepção do campo, como resultado de cargas elétricas alternadas induzidas na superfície do corpo, que fazem com que os pêlos do corpo vibrem. Muitos estudos mostraram que a maioria das pessoas pode perceber campos elétricos de 50/60 Hz mais intensos do que 20 kV.m^{-1} , e que uma pequena minoria pode perceber campos abaixo de 5 kV.m^{-1} (UNEP/WHO/IRPA 1984; Tenforde 1991).

Ocorreram pequenas mudanças na função cardíaca de voluntários expostos a campos elétricos de 60 Hz, combinados com campos magnéticos (9 kV.m^{-1} , $20 \mu\text{T}$) (Cook et al. 1992; Graham et al. 1994). A taxa de batimento cardíaco em repouso foi reduzida de forma leve, mas significativa (de 3 a 5 batidas por minuto), durante ou imediatamente após a exposição. Esta resposta não foi encontrada com exposição a campos mais intensos (12 kV.m^{-1} , $30 \mu\text{T}$), ou mais fracos (6 kV.m^{-1} , $10 \mu\text{T}$), e diminuiu quando a pessoa estava mentalmente alerta. Nenhuma das pessoas estudadas foi capaz de detectar a presença dos campos, e não houve nenhum outro resultado consistente, numa grande série de testes sensoriais e perceptivos.

Nenhum efeito fisiológico e psicológico adverso foi observado nos estudos em laboratório, com pessoas expostas a campos de 50 Hz na faixa de 2 a 5 mT (Sander et al. 1982; Ruppe et al. 1995). Nos estudos realizados por Sander et al (1982) e Graham et al. (1994) não foi observada nenhuma mudança na composição química e na contagem de células do sangue, nos gases sanguíneos, nos níveis de lactato, no eletrocardiograma e eletroencefalograma, na temperatura da pele, ou nos níveis de hormônios em circulação. Estudos recentes em voluntários, também não mostraram nenhum efeito da exposição a campos magnéticos de 60 Hz, no nível noturno de melatonina no sangue (Graham et al. 1996, 1997; Selmaoui et al. 1996).

Campos magnéticos ELF suficientemente intensos, podem provocar o estímulo direto de nervos periféricos e do tecido muscular, e pulsos curtos de campo magnético têm sido usados clinicamente para estimular nervos nos membros e conferir a integridade de vias neurais. Têm sido relatados estímulos musculares e de nervos periféricos, em voluntários expostos a variação gradativa de campos magnéticos de 1 kHz, em sistemas experimentais de imagem por ressonância magnética. Para campos pulsados, chaveados rapidamente, os limiares de densidade de fluxo magnético foram de vários mT e as densidades de corrente induzidas correspondentes, nos tecidos periféricos, foram de cerca de 1 A.m^{-2} . Campos magnéticos variáveis no tempo, que induzem, em tecidos, densidades de correntes acima de 1 A.m^{-2} , provocam excitação neural e podem produzir efeitos biológicos irreversíveis, tais como fibrilação cardíaca (Tenforde e Kaune 1987; Reilly 1989). Num estudo envolvendo eletromiogramas de um braço humano (Polson et al. 1982), foi verificado que um campo pulsado com dB/dt maior que 10^4 T.s^{-1} era necessário para estimular o tronco do nervo mediano. A duração do estímulo magnético foi também considerada um parâmetro importante no estímulo de tecidos excitáveis. Limiares mais baixos que 100 mA.m^{-2} podem ser derivados dos estudos de funções visuais e mentais em voluntários humanos. Têm sido relatadas mudanças na latência de resposta em testes complexos de raciocínio, em voluntários sujeitos a correntes elétricas fracas de 50/60 Hz, circulando em eletrodos ligados à cabeça e aos ombros. Foi estimado que as densidades de corrente situavam-se entre 10 e 40 mA.m^{-2} (Stollery 1986, 1987). Finalmente, muitos estudos relatam que voluntários experimentaram fracas sensações visuais oscilatórias, conhecidas como fosfenos magnéticos, durante a exposição a campos magnéticos ELF acima de 3-5 mT (Silny 1986). Estes efeitos visuais podem também ser induzidos pela aplicação direta de correntes elétricas fracas na cabeça. Em 20 Hz, têm sido estimadas densidades de corrente de cerca de 10 mA.m^{-2} na retina, como limiar para indução de fosfenos, o que está acima das densidades de corrente endógenas típicas, em tecidos eletricamente excitáveis. Limiares mais altos, foram observados para freqüências mais baixas e mais altas (Lovsund et al 1980; Tenforde 1990).

Na freqüência de 50 Hz, foi encontrado um limiar de 60 mT para potenciais visualmente evocados (Silny 1986). Da mesma forma, nenhum efeito sobre os potenciais foi obtido por Sander et al (1982), usando um campo de 50Hz, de 5 mT, ou por Graham et al (1994), usando campos elétricos e magnéticos combinados de 60 Hz, de até 12 kV.m^{-1} , e $30 \text{ } \mu\text{T}$, respectivamente.

Estudos com Células e Animais. Apesar do grande número de estudos empreendidos para descobrir os efeitos biológicos dos campos elétricos e magnéticos ELF, poucos estudos sistemáticos definiram os limiares para os campos que produzem perturbações significativas nas funções biológicas. Está bem estabelecido que correntes elétricas induzidas podem estimular tecidos nervosos e musculares diretamente, desde que a densidade da corrente induzida exceda valores limiares (UNEP/WHO/IRPA 1987; Bernhardt 1992; Tenforde 1996). Densidades de corrente que são incapazes de estimular tecidos excitáveis diretamente podem todavia afetar atividades elétricas existentes e influenciar a excitabilidade dos neurônios. Sabe-se que a atividade do sistema nervoso central é sensível aos campos elétricos endógenos produzidos pela ação de células nervosas adjacentes, em níveis abaixo dos requeridos para estimulação direta.

Muitos estudos têm sugerido que a transferência de sinais elétricos fracos, na faixa de ELF, envolve interações com a membrana celular, conduzindo a respostas bioquímicas citoplasmáticas, que, por sua vez, envolvem mudanças em estados

funcionais e de proliferação das células. A partir de modelos simples do comportamento de células individuais em campos fracos, foi calculado que o sinal elétrico, na região extracelular, deve ser maior que aproximadamente $10 - 100 \text{ mV.m}^{-1}$ (correspondente a uma densidade de corrente induzida de $2 - 20 \text{ mA.m}^{-2}$), para exceder o nível de ruído endógeno físico e biológico, em membranas celulares (Astumian et al. 1995). Evidências existentes, também sugerem que várias propriedades estruturais e funcionais das membranas, podem ser alteradas em resposta a campos ELF induzidos, de valor igual ou abaixo de 100 mV.m^{-1} (Sienkiewicz et al. 1991; Tenforde 1993). Alterações neuroendócrinas (p. ex.: supressão da síntese noturna de melatonina), foram observadas em resposta a campos elétricos induzidos de 10 mV.m^{-1} , ou menos, correspondentes a densidades de corrente induzidas de aproximadamente 2 mA.m^{-2} , ou menos (Tenforde 1991, 1996). Entretanto, não há nenhuma evidência clara de que estas interações biológicas de campos de baixa frequência causem efeitos adversos na saúde.

Foi sido observado que campos elétricos e correntes induzidas, em níveis excedendo aqueles de sinais endógenos bioelétricos presentes nos tecidos, causam numerosos efeitos fisiológicos, que aumentam em severidade quando a densidade de corrente induzida aumenta (Bernhardt 1979; Tenforde 1996). Na faixa de densidades de corrente de 10 a 100 mA.m^{-2} , têm sido relatados efeitos nos tecidos e mudanças nas funções cognitivas do cérebro (NRPB 1992; NAS 1996). Os limiares para estímulo neuronal e neuromuscular, são excedidos quando a densidade da corrente induzida excede valores de 100 ou várias centenas de mA.m^{-2} , para frequências entre 10 Hz e 1 kHz . As densidades de corrente limiares aumentam progressivamente nas frequências abaixo de vários hertz e acima de 1 kHz . Finalmente, nas densidades de corrente extremamente altas, com valor acima de 1 A.m^{-2} , podem ocorrer efeitos sérios e potencialmente mortais, tais como extrasístole cardíaca, fibrilação ventricular, tétano muscular, e falha respiratória. A severidade dos efeitos sobre tecidos e a probabilidade de serem irreversíveis, aumentam com a exposição crônica a densidades de corrente induzidas, acima do nível de 10 a 100 mA.m^{-2} . Portanto, parece ser apropriado limitar a exposição humana a campos que induzem densidades de corrente não maiores que 10 mA.m^{-2} na cabeça, pescoço, e tronco, numa faixa de frequências de poucos hertz até 1 kHz . Foi aventado que forças magneto-mecânicas oscilatórias e torques sobre partículas biogênicas de magnetita, em tecido do cérebro, poderiam estabelecer um mecanismo para a transdução de sinais provenientes de campos magnéticos ELF. Kirschvink et al. (1992b) sugeriram um modelo no qual as forças magnéticas ELF sobre partículas de magnetita são visualizadas como produzindo, em membranas, a abertura e o fechamento de canais de íons sensíveis à pressão. Entretanto, uma dificuldade com este modelo é a dispersão de partículas, com relação ao número de células no tecido cerebral. Por exemplo, o tecido cerebral humano contém uns poucos milhões de partículas de magnetita por grama, distribuídas em 10^5 conglomerados discretos de $5 - 10$ partículas (Kirschvink et al. 1992a). O número de células no tecido cerebral, portanto, excede o número de partículas de magnetita, por um fator de 100 . É difícil imaginar como interações magneto-mecânicas com cristais de magnetita, possam afetar um número significativo de canais de íons, no cérebro, sensíveis à pressão. Estudos adicionais são claramente necessários, para revelar o papel biológico da magnetita e os mecanismos possíveis, através dos quais este mineral poderia participar na transdução de sinais magnéticos ELF.

Um aspecto importante na avaliação dos efeitos de campos eletromagnéticos é a possibilidade de efeitos teratogênicos e no desenvolvimento. Com base em evidências científicas publicadas, é improvável que campos de frequências baixas

tenham efeitos adversos em mamíferos, no desenvolvimento embrionário e logo após o nascimento (Chernoff et al. 1992; Brent et al. 1993; Tenforde 1996). Além do mais, evidências atualmente disponíveis indicam que mutações somáticas e efeitos genéticos são resultados improváveis da exposição a campos elétricos e magnéticos de frequências abaixo de 100 kHz (Cridland 1993; Sienkiewicz et al. 1993).

Existem numerosos relatos na literatura sobre efeitos *in-vitro* de campos ELF nas propriedades das membranas celulares. (transporte de íons e interação de mitógenos com receptores superficiais em células) e mudanças em funções celulares e propriedades de crescimento (p. ex.: aumento de proliferação, e alterações no metabolismo, expressão gênica, biossíntese de proteína e atividades enzimáticas (Cridland 1993; Sienkiewicz et al. 1993; Tenforde 1991, 1992, 1993, 1996).

Uma considerável atenção foi focada nos efeitos de campo de baixa frequência sobre o transporte de Ca^{++} através de membranas celulares e a concentração intracelular deste íon (Walleczek e Liburdy 1990; Liburdy 1992; Walleczek 1992), RNA mensageiro e padrões de síntese de proteína (Goodman et al. 1983; Goodman e Henderson 1988, 1991; Greene et al. 1991; Phillips et al. 1992), e atividade de enzimas como ornitina descarboxilase (ODC) que são relacionadas à proliferação de células e promoção de tumores (Byus et al. 1987, 1988; Litovitz et al. 1991, 1993).

Todavia, antes que estas observações possam ser usadas para definir limites de exposição, é essencial estabelecer a sua reprodutibilidade e a sua relevância com relação ao câncer ou outros efeitos prejudiciais à saúde. Este aspecto é enfatizado pelo fato de que tem havido dificuldade para reproduzir algumas das principais observações de efeitos de campos sobre expressão gênica e síntese de proteínas (Lacy-Hulbert et al. 1995; Saffer e Thurston 1995). Os autores destes estudos identificaram várias deficiências nos estudos anteriores, incluindo mau controle de temperatura, falta de amostras apropriadas de controle, e o uso de técnicas de baixa resolução para analisar a produção de transcritos de RNA mensageiro. O aumento transitório na atividade ODC, observado em resposta à exposição de campo, é pequeno em amplitude e não está associado com sínteses *de novo* da enzima (diferentemente de promotores químicos de tumores tais como esteres de forbol (Byus et al. 1988). Estudos sobre ODC envolveram na sua maioria preparações celulares; estudos adicionais são necessários para mostrar se existem efeitos sobre ODC *in vivo*, embora exista um relatório que sugere efeitos sobre ODC numa análise do aparecimento de tumor mamário em ratos (Mevisen et al. 1995).

Não há nenhuma evidência que campos ELF alterem a estrutura do DNA e cromatina, e não são esperados efeitos mutacionais e de transformação neoplásica. Isto é sustentado por resultados de estudos em laboratório, projetados para detectar danos no DNA e em cromossomos, mutações e aumento na frequência de transformação, devidos à exposição a campo ELF (NRPB 1992; Murphy et al. 1993; McCann et al. 1993; Tenforde 1996). A falta de efeitos na estrutura dos cromossomos sugere que campos ELF, se é que têm algum efeito no processo de carcinogênese, é mais provável que ajam como promotores do que como iniciadores, promovendo a proliferação de células geneticamente alteradas, mais do que propriamente causando lesão inicial em DNA ou cromatina. Uma influência no desenvolvimento do tumor poderia ocorrer através de efeitos epigenéticos destes campos, tais como as alterações nos caminhos de sinalização celulares ou expressão gênica. O foco de estudos recentes tem sido, portanto, no sentido de descobrir possíveis efeitos de campos ELF

sobre fases de promoção e progressão de desenvolvimento de tumores, após o início provocado por um carcinógeno químico.

Estudos de crescimento de células de tumores *in-vitro* e o desenvolvimento de tumores transplantados em roedores, não proporcionaram nenhuma evidência forte de possíveis efeitos carcinogênicos da exposição a campos ELF (Tenforde 1996). Diversos estudos, de aplicação mais direta a câncer humano, envolveram testes *in-vivo* para determinar as atividades promotoras dos campos magnéticos ELF em tumores na pele, fígado, cérebro e nas mamas de roedores. Três estudos de promoção de tumor na pele (MacLean et al. 1991; Rannug et al. 1993a, 1994), não demonstraram nenhum efeito da exposição contínua, ou intermitente, a campos magnéticos de 50/60 Hz, em promover tumores induzidos quimicamente. Um efeito de co-promoção com um ester de forbol, foi observado no desenvolvimento de tumor na pele de camundongos, nos estágios iniciais da experiência, num campo de 60 Hz, com intensidade de 2 mT. Mas a importância estatística deste fato, perdeu-se na conclusão deste estudo, na 23ª semana (Stuchly et al. 1992). Estudos anteriores, dos mesmos pesquisadores, haviam mostrado que a exposição a campos de 60 Hz, 2 mT não promovia o crescimento de células de câncer da pele, iniciadas por DMBA (McLean et al. 1991).

Experiências sobre o desenvolvimento de focos neoplásicos no fígado, iniciados por carcinógeno químico e promovido por éster de forbol, em ratos parcialmente hepatectomizados, não revelaram nenhuma promoção ou efeito de co-promoção pela exposição a campos de 50 Hz variando em intensidade de 0,5 a 50 μ T (Rannug et al. 1993b,c).

Estudos do desenvolvimento no câncer de mama, em roedores tratados com um iniciador químico, sugeriram um efeito de promoção de câncer pela exposição a campos magnéticos de 50/60 Hz, com intensidades na faixa de 0,01 a 30 mT (Beniashvili et al. 1991; Loscher et al. 1993; Mevissen et al. 1993, 1995; Baun et al. 1995; Loscher e Mevissen 1995). Estas observações, levaram à hipótese de relacionar o aumento da incidência de tumores nos ratos expostos a campos, com a supressão de melatonina pineal induzida pelos campos e um conseqüente aumento dos níveis de hormônios esteróides e do risco de câncer de mama (Stevens 1987; Stevens et al. 1992). Contudo, será necessário repetir esses resultados em laboratórios independentes, antes que se possa chegar a conclusões relativas à sua implicação num possível efeito de campos magnéticos de ELF, na promoção de tumores mamários .

Também deve-se notar que estudos recentes não acharam nenhuma evidência de um efeito significativo da exposição a campos magnéticos ELF, sobre níveis de melatonina em seres humanos (Graham et al. 1996, 1997; Selmaoui et al. 1996).

Efeitos Indiretos de Campos Elétricos e Magnéticos. Efeitos indiretos de campos eletromagnéticos podem resultar do contato físico (p. ex.: tocando ou esbarrando), entre uma pessoa e um objeto, tal como uma estrutura metálica, que estejam em diferentes potenciais elétricos. O resultado de tal contato é o fluxo da carga elétrica (corrente de contato) que pode ter sido acumulada no objeto, ou no corpo da pessoa. Na faixa de frequências de até aproximadamente 100 kHz, o fluxo da corrente elétrica, de um objeto para o corpo do indivíduo, pode resultar no estímulo dos músculos e/ou nervos periféricos. Com o aumento dos níveis da corrente, isto pode se manifestar como percepção, dor causada por choque elétrico e/ou queimadura, incapacidade para soltar o objeto, dificuldade para respirar e, com correntes muito

altas, fibrilação cardíaca ventricular (Tenforde e Kaune 1987). Valores limiares para estes efeitos dependem da frequência, com o limiar mais baixo aparecendo nas frequências entre 10 e 100 Hz. Limiares para respostas de nervos periféricos, permanecem baixos para frequências de até vários kHz. A ocorrência destes problemas pode ser prevenida pela adoção de medidas de controle administrativo e técnicas apropriadas, ou mesmo pelo uso de roupas pessoais de proteção..

Descargas elétricas podem ocorrer quando um indivíduo chega muito perto de um objeto com potencial elétrico diferente, sem mesmo tocá-lo (Tenforde e Kaune 1987; UNEP/WHO/IRPA 1993). Quando cada componente de um grupo de voluntários, eletricamente isolados do chão, manteve a ponta de um dedo perto de um objeto ligado à terra, o limiar para percepção de descargas elétricas foi da ordem de 0,6 a 1,5 kV.m⁻¹, em 10% dos casos. O nível limiar de campo, relatado como causando desconforto sob estas condições de exposição, é de aproximadamente 2,0 a 3,5 kV.m⁻¹. Correntes de contato intensas podem provocar contração muscular. Foi relatado que 50% dos voluntários masculinos não conseguiram soltar um condutor carregado para correntes de contato maiores que 9 mA a 50/60 Hz, 16 mA a 1 kHz e quase 130 mA a 100 kHz (UNEP/WHO/IRPA 1993).

As correntes limiares para vários efeitos indiretos de campos, nas frequências de até 100 kHz, estão resumidas na Tabela 2 (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Tabela 2 – Limiares de corrente para efeitos indiretos, inclusive em crianças, mulheres e homens.

Efeito indireto	Corrente Limiar (mA) na frequência		
	50/60 Hz	1 kHz	100 kHz
Percepção ao toque	0,2 - 0,4	0,4 - 0,8	25 - 40
Dor no dedo em contato	0,9 - 1,8	1,6 - 3,3	33 - 55
Choque doloroso / limiar de "soltura"	8 - 16	12 - 24	112 - 224
Choque grave / dificuldade na respiração	12 - 23	21 - 41	160 - 320

Resumo dos Efeitos Biológicos e Estudos Epidemiológicos (até 100 kHz)

Com a possível exceção de tumores de mama, há pouca evidência, a partir dos estudos em laboratório, de que os campos magnéticos de frequência de distribuição de energia tenham um efeito de promoção de tumores. Embora sejam necessários estudos adicionais em animais, para esclarecer os possíveis efeitos de campos ELF sobre sinais produzidos em células e na regulação endócrina — ambos os quais podem influenciar o crescimento de tumores promovendo a proliferação de células iniciadas — só se pode concluir que não há, atualmente, nenhuma evidência convincente de efeitos carcinogênicos destes campos e que, portanto, estes dados não podem ser usados como base para desenvolver diretrizes para a exposição.

Estudos em laboratório, com sistemas celulares e animais, não encontraram nenhum efeito bem fundamentado, de campos de baixa frequência, que seja indicador de efeitos prejudiciais à saúde, quando a densidade de corrente induzida está abaixo de 10 mA.m⁻². Em níveis mais altos de densidade de corrente induzida (10 - 100 mA m⁻²), têm sido coerentemente observados efeitos mais significativos em tecidos, tais como mudanças funcionais no sistema nervoso e outros (Tenforde 1996).

Dados sobre o risco de câncer, associado com a exposição a campos ELF, de indivíduos morando perto de linhas de transmissão, são aparentemente consistentes ao indicar um pequeno aumento de risco de leucemia entre crianças, embora estudos

mais recentes questionem esta fraca associação. Entretanto, os estudos não indicaram um risco, da mesma forma elevado, de nenhum outro tipo de câncer infantil, ou qualquer forma de câncer em adultos.

Desconhece-se a causa básica para a ligação hipotética entre a leucemia infantil e o fato de residir na proximidade imediata de linhas de transmissão. Se a ligação não está relacionada a campos elétricos e magnéticos ELF, gerados pelas linhas de transmissão, então fatores de risco desconhecidos para a leucemia teriam que estar relacionados com as linhas, de maneira a ser determinada. Na ausência de apoio por estudos em laboratório, os dados epidemiológicos são insuficientes para permitir o estabelecimento de uma diretriz de exposição.

Têm havido relatos de aumento de risco de certos tipos de câncer, tais como leucemia, tumores de tecidos nervosos e, limitadamente, câncer da mama, entre eletricitários. Na maioria dos estudos, os tipos de trabalho foram usados para classificar os indivíduos de acordo com os níveis de exposição presumida a campos magnético. Alguns estudos mais recentes, entretanto, têm usado métodos mais sofisticados de determinação da exposição. Em geral, estes estudos sugeriram um aumento do risco de leucemia ou de tumores cerebrais, mas foram inconsistentes com referência ao tipo de câncer para o qual há aumento de risco. Os dados são insuficientes para prover a base de diretrizes para exposição a campos ELF. Em um grande número de estudos epidemiológicos, não resultou nenhuma evidência consistente da existência de efeitos reprodutivos adversos.

A medição das respostas biológicas em estudos de laboratório e em voluntários, tem fornecido fraca indicação de efeitos adversos de campos de baixa frequência, nos níveis em que as pessoas estão expostas normalmente. Tem sido estimado um limiar de densidade de corrente de 10 mA.m^{-2} , em frequências de até 1 kHz, para se obter pequenos efeitos sobre as funções do sistema nervoso. Entre os voluntários, os efeitos mais consistentes de exposição são o aparecimento de fosfenos visuais e uma pequena redução do batimento cardíaco, durante, ou imediatamente após, a exposição a campos ELF, mas não há nenhuma evidência de que estes efeitos transitórios estejam associados com qualquer risco de saúde a longo prazo. Uma redução na síntese noturna de melatonina pineal tem sido relatada em várias espécies de roedores, após exposição a campos elétricos e magnéticos ELF de pequena intensidade, mas nenhum efeito consistente tem sido observado em seres humanos expostos a campos ELF sob condições controladas. Estudos envolvendo exposições a campos magnéticos de 60 Hz, de até 20 μT , não apresentaram resultados confiáveis com relação aos níveis de melatonina no sangue.

BASES BIOLÓGICAS PARA LIMITAR A EXPOSIÇÃO (100 KHZ - 300 GHZ)

Os parágrafos seguintes, proporcionam uma revisão geral da literatura sobre os efeitos biológicos, e possíveis efeitos na saúde, da exposição a campos eletromagnéticos com frequências de 100 kHz a 300 GHz. Revisões mais detalhadas podem ser encontradas em outras fontes (NRPB 1991; UNEP/WHO/IRPA 1993; McKinLay et al. 1996; Polk and Postow 1996; Repacholi 1998).

Efeitos diretos dos campos eletromagnéticos

Estudos epidemiológicos. Somente um número limitado de estudos foi realizado sobre os efeitos na reprodução e o risco de câncer, em indivíduos expostos à

radiação de microondas. Um resumo da literatura foi publicado por UNEP/WHO/IRPA (1993).

Efeitos sobre a reprodução. Dois estudos extensos, realizados com mulheres tratadas com diatermia de microondas para aliviar a dor das contrações uterinas durante o parto, não acharam nenhuma evidência de efeitos prejudiciais ao feto (Daels 1973, 1976). Todavia, sete estudos sobre conseqüências na gravidez, entre trabalhadoras expostas ocupacionalmente a radiação de microondas e sobre defeitos de nascimento entre suas proles, produziram tanto resultados positivos quanto negativos. Em alguns dos mais extensos estudos epidemiológicos, com operadoras de máquinas seladoras de plásticos por RF e fisioterapeutas trabalhando com aparelhos de diatermia por ondas curtas, não foram achados efeitos estatisticamente significativos sobre índices de aborto ou má formação do feto (Kallen et al. 1982). Como contraste, outros estudos sobre populações semelhantes de mulheres trabalhadoras, acharam um aumento de risco de aborto e defeitos de nascimento (Larsen et al. 1991; Ouellet-Hellstron e Stewart 1993). Um estudo sobre trabalhadores em instalações de radar, não achou nenhuma associação entre exposição a microondas e risco de síndrome de Down, em sua descendência (Cohen et al. 1977).

Em geral, os estudos sobre conseqüências na reprodução, relacionadas com a exposição a microondas, são imprecisos na avaliação da exposição e representam um número muito pequeno de casos. Apesar dos resultados destes estudos serem geralmente negativos, será difícil chegar a conclusões seguras sobre riscos na reprodução, sem mais dados epidemiológicos relacionados com indivíduos altamente expostos e sem uma avaliação mais precisa da exposição.

Estudos sobre o Câncer. Estudos sobre o risco de câncer relacionado à exposição a microondas são poucos e geralmente falta uma determinação quantitativa de exposição. Dois estudos epidemiológicos em trabalhadores radares na indústria de aviação e nas forças armadas dos Estados Unidos não encontraram nenhuma evidência de aumento de morbidez ou mortalidade, por qualquer causa (Barron e Baraff 1958; Robinette et al. 1980; UNEP/WHO/IRPA 1993). Resultados similares foram obtidos por Lillienfeld et al. (1978) em um estudo realizado com funcionários da Embaixada dos Estados Unidos em Moscou, expostos, de forma crônica, a um baixo nível de radiação de microondas. Selvin et al. (1978) não acusaram nenhum aumento no risco de câncer entre crianças expostas, de forma crônica, à radiação de um transmissor de microondas, de alta potência, instalado perto de suas casas. Estudos mais recentes, falharam em mostrar aumentos significativos nos tumores de tecidos nervosos em trabalhadores e guarnições militares expostas a campos de microondas (Beall et al. 1996; Grayson 1996). Além disso, não ficou evidenciado um aumento de mortalidade, por nenhuma causa, entre usuários de telefones móveis (Rothman et al. 1996a, b), mas é ainda muito cedo para observar um efeito (a longo prazo), na incidência de câncer ou na mortalidade.

Houve um relatório sobre o aumento de risco de câncer entre guarnições militares (Szmigielski et al. 1988), mas os resultados do estudo são de difícil interpretação, porque nem o tamanho da população nem os níveis de exposição são claramente especificados. Num estudo posterior, Szmigielski (1996), encontrou índices ampliados de leucemia e linfoma entre guarnições militares expostas a campos CEM, mas a avaliação da exposição a CEM não foi bem definida. Uns poucos estudos recentes de populações vivendo perto de transmissores CEM sugeriram um aumento local na incidência de leucemia (Hocking et al. 1996; Dolk et al. 1997a, b), mas os

resultados não são conclusivos. No conjunto, os resultados do pequeno número de estudos epidemiológicos publicados contribui apenas com informação limitada sobre o risco de câncer.

Estudos em Laboratório. Os parágrafos seguintes, proporcionam um resumo e uma avaliação crítica dos estudos em laboratório sobre os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos, com frequências na faixa de 100 kHz a 300 GHz. Há discussões separadas sobre os resultados de estudos com voluntários expostos sob condições controladas e de estudos em laboratório com células, tecidos e sistemas animais.

Estudos com Voluntários. Estudos realizados por Chatterjee et al. (1986) demonstraram que, quando a frequência aumenta, de aproximadamente 100 kHz até 10 MHz, o efeito dominante da exposição a um campo eletromagnético de intensidade elevada passa a ser o aquecimento, em lugar da estimulação de nervos e músculos. Para 100 kHz, a principal sensação observada foi a de latejamento em nervos, enquanto que, em 10 MHz, foi de calor moderado na pele. Nessa faixa de frequências, portanto, o critério básico de proteção da saúde deve ser tal que evite o estímulo de tecidos excitáveis e os efeitos do aquecimento. Nas frequências de 10 MHz a 300 GHz, o aquecimento é o principal efeito da absorção de energia eletromagnética, e um aumento de temperatura superior a 1 – 2 °C pode ter efeitos adversos na saúde, como exaustão e choque térmico (ACGIH 1996). Estudos realizados com trabalhadores em ambientes termicamente estressantes mostraram que a elevação da temperatura corporal, até níveis próximos a estresse fisiológico devido ao calor, piora o desempenho de tarefas simples (Ransley e Kwon 1988).

Voluntários submetidos à passagem de correntes de alta frequência com intensidades de aproximadamente 100 - 200 mA através de um membro, acusaram uma sensação de calor moderado. É pouco provável que a SAR, nessas condições, possa causar nos membros um aumento localizado de temperatura superior a 1°C. (Chatterjee et al. 1986; Chen e Gandhi; Hoque and Gandhi 1988), valor que tem sido sugerido como o maior aumento de temperatura sem efeito prejudicial à saúde (UNEP/WHO/IRPA 1993). Resultados obtidos com voluntários e relatados por Gandhi et al. 1986 para frequências até 50 MHz e por Tofani et al. (1995) para frequências até 110 MHz (o limite superior da faixa de radiodifusão FM), justificam a fixação de um nível de referência de 100 mA para correntes nos membros, para evitar efeitos devidos a aquecimento excessivo (Dimbylow 1997).

Foram realizados vários estudos sobre respostas termoreguladoras de voluntários expostos a CEM, em repouso, durante a obtenção de imagens por ressonância magnética (Shellock e Crues 1987; Magin et al. 1992). Em geral, os estudos demonstraram que a exposição, por até 30 minutos, sob condições em que a SAR de corpo inteiro manteve-se menor do que 4 W.kg⁻¹, causou um aumento inferior a 1°C na temperatura interna do corpo.

Estudos em Células e Animais. Há vários relatórios sobre respostas comportamentais e fisiológicas de animais de laboratório, inclusive roedores, cachorros e primatas não humanos, a fenômenos térmicos relacionados com CEM em frequências acima de 10 MHz. Respostas, tanto na termosensibilidade, como na termoregulação, são associadas com o hipotálamo e com receptores térmicos localizados na pele e nas partes internas do corpo. Sinais aferentes refletindo mudanças de temperatura convergem ao sistema nervoso central e modificam a

atividade dos principais sistemas de controle neuroendócrino, disparando as respostas fisiológicas e de comportamento necessárias à manutenção da homeostase térmica.

A exposição de animais de laboratório, a CEM, resultando numa absorção de energia superior a 4 W.kg^{-1} , revelou um modelo característico de resposta termoreguladora, segundo a qual a temperatura do corpo aumenta inicialmente e em seguida se estabiliza, a partir da ativação de mecanismos termoreguladores (Michaelson 1983). A fase inicial desta resposta é acompanhada por um aumento do volume de sangue, devido ao movimento de fluido extracelular para a circulação e por aumentos na taxa de batida cardíaca e na pressão sangüínea intraventricular. Estas mudanças hemodinâmicas refletem respostas termoreguladoras que facilitam a condução de calor para a superfície do corpo.

A exposição prolongada de animais à radiação de microondas, em níveis de intensidade que elevam a temperatura do corpo, acaba conduzindo ao colapso destes mecanismos termoreguladores.

Vários estudos com roedores e macacos, demonstraram também uma componente comportamental nas respostas termoreguladoras. Foi observada uma queda no desempenho de tarefas por macacos e ratos, para valores de SAR entre 1 e 3 W.kg^{-1} (Stern et al. 1979; Adair e Adams 1980; de Lorge e Ezell 1980; D'Andrea et al. 1986). Nos macacos, as alterações no comportamento termoregulador começam quando a temperatura na região do hipotálamo aumenta apenas $0,2 - 0,3^\circ\text{C}$ (Adair et al. 1984). O hipotálamo é considerado como sendo o centro de controle de processos termoreguladores normais, e sua atividade pode ser modificada por um pequeno aumento da temperatura local, sob as mesmas condições em que a temperatura retal permanece constante.

Um grande número de efeitos fisiológicos, foi caracterizado em estudos com sistemas celulares e animais (Michaelson e Elson 1996), em níveis de energia eletromagnética absorvida que causam elevações de temperatura corporal em excesso de $1 - 2^\circ\text{C}$. Estes efeitos incluem alterações em funções neurais e neuromusculares, aumentos de permeabilidade na barreira hematoencefálica, dano ocular, (opacidade da lente e anormalidades da córnea), mudanças no sistema imunitivo associadas ao estresse, mudanças hematológicas, mudanças reprodutivas (e.g. redução na produção de esperma), teratogenia; e mudanças na morfologia, no conteúdo de água e de eletrólito, e nas funções da membrana das células.

Sob condições de exposição parcial do corpo a CEM intensos, pode ocorrer um dano térmico significativo em tecidos sensíveis, tais como encontrados nos olhos e nos testículos. Cataratas nos olhos de coelhos, resultaram da exposição a microondas, com 2-3 horas de duração e SAR de $100-140 \text{ W.kg}^{-1}$, causando temperaturas lenticulares de $41-43^\circ\text{C}$ (Guy et al. 1975). Nenhum caso de catarata foi observado em macacos expostos a campos de microondas com intensidades similares ou mais altas, possivelmente por causa de diferenças nas formas de absorção de energia nos olhos dos macacos e dos coelhos. Nas frequências muito altas (10-300 GHz), a absorção de energia eletromagnética ocorre principalmente nas camadas epidérmicas da pele, nos tecidos subcutâneos e na parte externa do olho. Na extremidade mais alta da faixa de frequências, a absorção é, de modo crescente, superficial. O dano ocular nestas frequências pode ser evitado se a densidade de potência de microondas é menor do que 50 W.m^{-2} (Slaney e Wollbarsht 1980; UNEP/WHO/IRPA 1993).

Tem havido recentemente interesse considerável nos possíveis efeitos carcinogênicos da exposição a campos de microondas com frequências na faixa ocupada por sistemas de comunicação largamente utilizados, incluindo telefones móveis portáteis e estações rádio-base. Os resultados de pesquisas nestas áreas foram sumariados pela ICNIRP (1996). Resumidamente, há muitos relatórios sugerindo que os campos de microondas não são mutagênicos, e que portanto é improvável que a exposição a estes campos possa iniciar a carcinogênese (NRPB 1992; Cridland 1993; UNEP/WHO/IRPA 1993). Em contraste, alguns relatórios recentes sugerem que a exposição de roedores a campos de microondas, em níveis de SAR na ordem de 1 W.kg^{-1} , podem produzir rupturas no filamento de DNA de testículos e de tecidos do cérebro (Sakar et al. 1994; Lai e Singh 1995, 1996). Contudo, ambos ICNIRP (1996) e Williams (1996) apontaram deficiências metodológicas, que poderiam ter afetado estes resultados, de forma significativa.

Em um amplo estudo com ratos expostos a microondas, por um período de até 25 meses, foi notado um maior número de efeitos malignos primários no grupo de ratos expostos, em comparação com os ratos do grupo de controle (Chou et al. 1992). Por outro lado, a incidência de tumores benignos não diferiu entre os dois grupos, e nenhum tipo específico de tumor prevaleceu mais no grupo exposto do que em ratos de controle, da mesma linhagem, mantidos igualmente livres de patógenos específicos. Considerados no seu todo, os resultados deste estudo não podem ser interpretados como indicadores de um efeito iniciador de tumores devido a campos de microondas.

Diversos estudos examinaram os efeitos da exposição a microondas no desenvolvimento de células tumorais pré-iniciadas. Szmigielski et al. (1982) notaram uma taxa acentuada de crescimento, em células de sarcoma pulmonar transplantadas em ratos expostos a altas densidades de potência. É possível que isto tenha resultado de um enfraquecimento do sistema imunativo do hospedeiro, em resposta ao estresse térmico causado pela exposição a microondas. Estudos recentes, usando níveis atérmicos de irradiação por microondas, não encontraram efeitos no desenvolvimento de melanoma em camundongos ou de glioma cerebral em ratos (Santini et al. 1988; Salford et al. 1993).

Repacholi et al. (1997) relataram que a exposição de 100 fêmeas de camundongos transgênicos *Em-pim1*, a campos de 900 MHz, pulsados a 217 Hz com larguras de pulso de $0,6 \mu\text{s}$, por até 18 meses, produziu o dobro da incidência de linfomas registrada em 101 controles. Pela razão dos camundongos poderem se deslocar livremente em suas gaiolas, a variação no valor da SAR foi ampla ($0,01 - 4,2 \text{ W kg}^{-1}$). Levando em conta que a taxa metabólica basal destes camundongos é de 7 a 15 W.kg^{-1} , somente os valores mais altos de exposição podem ter produzido algum aquecimento leve. Assim, este estudo parece sugerir que um mecanismo não térmico pode estar agindo; o que precisa ainda ser investigado. Entretanto, restam muitas questões a resolver, antes que possa ser feita qualquer suposição sobre os riscos à saúde. O estudo precisa ser repetido, limitando o movimentos dos animais, para diminuir a variação da SAR e determinar se existe uma relação da resposta com a dose. Para poder generalizar os resultados aos seres humanos, são necessários mais estudos para determinar se os mesmos resultados são encontrados em outras espécies animais. É também essencial avaliar se os resultados encontrados em animais transgênicos são aplicáveis aos seres humanos.

Considerações especiais para formas de onda pulsadas e moduladas em amplitude.

Os campos pulsados de microondas, comparados com a radiação de onda contínua (CW), com a mesma taxa média de absorção de energia nos tecidos, são geralmente mais eficazes em provocar uma resposta biológica, especialmente quando há um limiar bem definido que deve ser superado para evidenciar o efeito (ICNIRP 1996). O “efeito auditivo de microondas” é um exemplo bem conhecido. (Frey 1961; Frey e Messenger 1973; Lin 1978): pessoas com audição normal, podem perceber pela audição campos modulados por pulsos, com frequências de aproximadamente 200 MHz a 6,5 GHz. A sensação auditiva tem sido descrita de diversos modos, como um zumbido, estalo, ou estouro, dependendo das características de modulação do campo. Os efeitos auditivos de microondas têm sido atribuídos à interação termoelástica no córtex auditivo do cérebro, com um limiar para percepção de aproximadamente 100 - 400 mJ.m⁻² para pulsos de duração menor do que 30 µs em 2,45 GHz (correspondente a uma SA de 4 - 16 mJ.kg⁻¹). A exposição repetida ou prolongada, a efeitos auditivos de microondas, pode ser estressante e potencialmente nociva.

Alguns relatórios sugerem que retina, íris, e endotélio da córnea dos olhos dos primatas, são sensíveis à radiação de microondas pulsadas de nível baixo (Keus et al. 1985; UNEP/WHO/IRPA 1993). Foram relatadas alterações degenerativas nas células da retina sensíveis à luz, para níveis de energia absorvida tão baixos quanto 26 mJ.kg⁻¹. Depois da administração de maleato de timolol, que é usado no tratamento de glaucoma, o limiar para danos na retina, causados por campos pulsados, caiu para 2,6 mJ.kg⁻¹. Entretanto, uma tentativa feita num laboratório independente, para reproduzir parcialmente estes resultados para campos CW (i.e. não pulsados), não teve sucesso (Kamimura et al 1994). Portanto, é impossível no momento avaliar as implicações potenciais, para a saúde, dos resultados iniciais de Kues et al. (1985).

Tem sido relatado que a exposição a campos intensos de microondas pulsadas suprime a resposta em abalo em camundongos conscientes e provoca movimentos corporais (NRPB 1991; Sienkiewicz et al. 1993; UNEP/WHO/IRPA 1993). O limiar do nível de absorção de energia específica no mesencéfalo, que provocou os movimentos do corpo, foi de 200 J.kg⁻¹ para pulsos de 10 µs. Resta ainda determinar o mecanismo para estes efeitos de microondas pulsadas, mas acredita-se que esteja relacionado com o fenômeno de audição de microondas. Os limiares auditivos para roedores são cerca de uma ordem de grandeza mais baixa do que para seres humanos, ou seja, 1 - 2 mJ.kg⁻¹ para pulsos menores do que 30 µs de duração. Tem sido relatado que pulsos desta magnitude afetam o metabolismo dos neurotransmissores e a concentração dos receptores neurais envolvidos no estresse e nas respostas de ansiedade em regiões diferentes do cérebro do rato.

A questão das interações atômicas de CEM de alta frequência tem focado principalmente os relatos de efeitos biológicos de campos modulados em amplitude (AM), sob condições *in-vitro*, com valores de SAR bem abaixo daqueles que produzem um aquecimento mensurável dos tecidos. Dos estudos iniciais em dois laboratórios independentes, resultou que campos de VHF, com modulação em amplitude em frequências extremamente baixas (6 - 20 Hz), produziram uma liberação pequena - mas estatisticamente significativa - de Ca⁺⁺ das superfícies de células do cérebro de pintinhos (Brawin et al. 1975; Blackman et al. 1979). Uma tentativa subsequente de confirmação destes resultados, usando o mesmo tipo de campo AM, não foi bem sucedida (Albert et al. 1987). Vários outros estudos dos efeitos de campos AM sobre a

homeostase do Ca^{++} produziram seja resultados positivos como negativos. Por exemplo, os efeitos de campos AM sobre a ligação de Ca^{++} à superfície de células têm sido observados com células de neuroblastomas, células pancreáticas, tecido cardíaco e células do cérebro de gato, mas não com células cultivadas de nervos de rato, músculo esqueléticos de pintinho, ou células do cérebro de rato (Postow e Swicord 1996).

Tem sido também relatado que campos modulados em amplitude alteram a atividade elétrica do cérebro (Bawin et al. 1974), inibem a atividade citotóxica de linfócitos-T. (Lyle et al. 1983), diminuem as atividades de quinases não dependentes do AMP cíclico em linfócitos (Byus et al. 1984), e causam um aumento transitório na atividade citoplásmica de ornitina descarboxilase, uma enzima essencial para a proliferação de células (Byus et al. 1988; Litovitz et al. 1992). Em contraste, nenhum efeito foi observado em uma grande variedade de outros sistemas celulares e variáveis funcionais, incluindo "capping" de linfócitos, transformação neoplásica da célula, e várias propriedades elétricas e enzimáticas de membranas (Postow e Swicord 1996). De relevância particular para os efeitos carcinogênicos potenciais de campos pulsados, é a verificação feita por Balcer - Kubiczek e Harrison (1991) de que a transformação neoplásica foi acelerada em células C3H/10T1/2 expostas a microondas de 2450 MHz moduladas por pulsos a 120 Hz. O efeito dependeu da intensidade do campo, mas ocorreu somente quando um agente químico carcinógeno de tumor, TPA, estava presente no meio de cultura da célula. Este resultado sugere que microondas pulsadas podem exercer efeitos co-carcinogênicos, em combinação com um agente químico que aumenta a taxa de proliferação de células transformadas. Até o presente, não houve nenhuma tentativa de repetir este achado, e sua implicação para os efeitos na saúde humana não é clara.

A interpretação de vários efeitos biológicos observados com campos eletromagnéticos modulados em amplitude é ainda mais dificultada pela existência aparente de "janelas" de respostas nos domínios da densidade de potência e da frequência. Não há nenhum modelo aceitável que explique adequadamente este fenômeno, que desafia o conceito tradicional do relacionamento monotônico entre a intensidade do campo e a severidade dos efeitos biológicos resultantes.

Em resumo, a literatura sobre efeitos atérmicos de campos eletromagnéticos AM é tão complexa, a validade dos efeitos relatados tão precariamente estabelecida, e a importância dos efeitos para a saúde humana tão incerta, que é impossível usar este volume de informações como base para estabelecer limites sobre exposição humana a esses campos.

Efeitos Indiretos de Campos Eletromagnéticos

Na faixa de frequências de aproximadamente 100 kHz - 110 MHz, queimaduras e choques em pessoas podem resultar ou do toque em um objeto metálico não aterrado que adquiriu uma carga num campo, ou do contato entre uma pessoa carregada e um objeto aterrado de metal. Deve-se notar que o limite superior de frequências para a corrente de contato (110 MHz) é fixado por falta de dados nas frequências mais altas e não por ausência de efeitos acima desse limite. Entretanto, 110 MHz é o limite superior da faixa de frequências utilizadas em radiodifusão por FM. Valores limites de intensidade de corrente, correspondentes a efeitos biológicos variando em severidade desde a percepção até a dor, foram medidos em experiências controladas, realizadas com voluntários (Chatterjee et al. 1986; Tenforde and Kaune 1987; Bernhardt 1988). Os

resultados encontram-se resumidos na Tabela 3. Em geral, tem se mostrado que os limites para as correntes que produzem percepção e dor variam pouco na faixa de freqüências 100 kHz - 1 MHz e é pouco provável que variem de forma significativa na faixa de freqüências até quase 100 MHz. Como foi antes notado para freqüências mais baixas, também para campos de freqüência mais alta existem diferenças significativas entre a sensibilidade de homens, mulheres e crianças. Os dados da Tabela 3 representam a faixa do 50º percentil de valores para pessoas de diferentes tamanhos e níveis de sensibilidade a correntes de contato.

Tabela 3 - Faixas de limiares de correntes para efeitos indiretos, incluindo crianças, mulheres e homens.

Efeito indireto	Limiares de corrente nas freqüências :	
	100 kHz	1 MHz
Percepção ao toque	25 - 40	25 - 40
Dor no dedo em contato	33 - 55	28 - 50
Choque doloroso/limiar de "soltura"	112 - 224	Não determinado
Choque grave/dificuldade para respirar.	160 - 320	Não determinado

Resumo dos Efeitos Biológicos e Estudos Epidemiológicos (100 kHz - 300 GHz)

A evidência experimental disponível indica que a exposição de humanos em repouso, por aproximadamente 30 min, a CEM produzindo uma SAR de corpo inteiro entre 1 e 4 W.kg⁻¹, resulta num aumento da temperatura do corpo inferior a 1 °C. Dados obtidos com animais indicam um limiar para respostas do comportamento na mesma faixa de SAR. A exposição a campos mais intensos, produzindo valores de SAR superiores a 4 W.kg⁻¹, pode exceder a capacidade termoreguladora do corpo e produzir níveis de aquecimento nocivos aos tecidos. Muitos estudos de laboratório com roedores e primatas não humanos, demonstraram a grande variedade de danos em tecidos provocados por elevações de temperatura superiores a 1 – 2 °C devidas ao aquecimento de partes - ou da totalidade - do corpo. A sensibilidade de vários tipos de tecidos a danos térmicos varia amplamente, mas o limiar para efeitos irreversíveis, mesmo nos tecidos mais sensíveis, é maior do que 4 W.kg⁻¹, em condições ambientais normais. Estes dados formam a base para a restrição de 0,4 W.kg⁻¹ para a exposição ocupacional, o que garante uma larga margem de segurança para outras condições limitantes, tais como alta temperatura ambiental, umidade, ou nível de atividade física.

Dados de laboratório e resultados de estudos limitados com seres humanos (Michaelson e Elson 1996) apontam claramente que ambientes termicamente fatigantes e o uso de drogas ou álcool, podem comprometer a capacidade de termoregulação do corpo. Sob estas condições, fatores de segurança devem ser introduzidos para fornecer proteção adequada aos indivíduos expostos.

Dados sobre respostas humanas a CEM de alta freqüência que produzem aquecimento perceptível, têm sido obtidos a partir da exposição controlada de voluntários e dos estudos epidemiológicos com trabalhadores expostos a fontes como radares, equipamento de diatermia médica e seladoras de RF. Os resultados estão plenamente de acordo com as conclusões extraídas dos trabalhos de laboratório, ou seja, efeitos biológicos adversos podem ser causados por aumentos de temperatura superiores a 1 °C em tecidos. Estudos epidemiológicos com trabalhadores expostos e

com o público em geral não mostraram nenhum efeito significativo para a saúde relacionado com condições típicas de exposição.

Embora o trabalho epidemiológico apresente deficiências, como a avaliação imprecisa da exposição, os estudos não apresentaram nenhuma evidência convincente de que níveis típicos de exposição possam conduzir a resultados adversos na reprodução ou a um maior risco de câncer para as pessoas expostas. Isto é consistente com os resultados das pesquisas de laboratório com células e animais, que não demonstraram efeitos teratogênicos ou carcinogênicos causados por exposição em níveis atérmicos de CEM de alta frequência.

A exposição a CEM pulsados, de intensidade suficiente, provoca efeitos previsíveis, tais como o fenômeno de audição de microondas e várias respostas de comportamento. Estudos epidemiológicos com trabalhadores expostos e com o público em geral, forneceram informações limitadas e falharam em demonstrar quaisquer efeitos na saúde. Relatórios de danos severos na retina têm sido contestados após tentativas mal sucedidas de repetição dos resultados encontrados.

Um grande número de estudos sobre efeitos biológicos de CEM modulados em amplitude, na maioria das vezes conduzidos com níveis baixos de exposição, renderam tanto resultados positivos como negativos. Uma análise completa destes estudos revela que os efeitos de campos AM variam largamente com os parâmetros de exposição, os tipos de células e de tecidos envolvidos, e os resultados finais que foram examinados. Em geral, os efeitos da exposição de sistemas biológicos a níveis atérmicos de CEM modulados em amplitude, são pequenos e muito difíceis de relacionar a efeitos potencialmente prejudiciais à saúde. Não há nenhuma evidência convincente quanto à existência de janelas de frequência e de densidade de potência, na resposta a estes campos.

Os efeitos nocivos indiretos de CEM de alta frequência, causados por contato humano com objetos metálicos expostos ao campo, podem resultar em choques e queimaduras. Nas frequências de 100 kHz a 110 MHz (o limite superior da faixa de radiodifusão em FM), os limiares para a corrente de contato capaz de produzir efeitos que vão desde a percepção até a dor aguda, não variam significativamente em função da frequência do campo. O limiar para percepção, varia de 25 a 40 mA em indivíduos de diferentes tamanhos e o limiar para a dor, de aproximadamente 30 a 55 mA. Acima de 50 mA, pode haver queimaduras graves no local de contato do tecido com um condutor metálico exposto ao campo.

DIRETRIZES PARA LIMITAR A EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Limites para exposição ocupacional e do público em geral.

A população ocupacionalmente exposta compreende adultos que estão geralmente expostos a condições conhecidas e são treinados para estar atentos ao risco potencial e tomar as precauções apropriadas. Em contraste, o público em geral consiste de pessoas de todas as idades e estados de saúde e pode incluir grupos ou indivíduos particularmente suscetíveis. Em muitos casos, essas pessoas não têm consciência de sua exposição a CEM. Além do que, não se pode esperar que indivíduos do público em geral tomem precauções para minimizar ou evitar a exposição. É sobre estas considerações que se baseia a adoção de restrições mais

rigorosas para a exposição do público em geral, do que para a população exposta ocupacionalmente.

Restrições Básicas e Níveis de Referência

As restrições aplicáveis a efeitos biológicos da exposição a CEM baseiam-se em efeitos bem fundamentados sobre a saúde e são denominadas restrições básicas. Dependendo da frequência, as grandezas físicas usadas para especificar as restrições básicas sobre a exposição a CEM são a densidade de corrente, a SAR e a densidade de potência. A proteção contra efeitos prejudiciais à saúde requer que estas restrições básicas não sejam excedidas.

Níveis de referência de exposição são fornecidos para comparação com valores medidos de grandezas físicas. A concordância com todos os níveis de referência dados nestas diretrizes, garante a concordância com as restrições básicas. No caso dos valores medidos serem maiores do que os níveis de referência, isso não significa necessariamente que as restrições tenham sido excedidas, mas uma análise mais detalhada torna-se necessária para avaliar a concordância com as restrições básicas.

Considerações Gerais sobre Fatores de Segurança

As informações sobre os efeitos biológicos e sobre a saúde, causados pela exposição a CEM em populações humanas e animais, não são suficientes para fundamentar com rigor os fatores de segurança sobre todas as faixas de frequências e para toda forma de modulação. Além do que, parte das dúvidas a respeito de fatores de segurança resulta da falta de conhecimento da dosimetria adequada. (Repacholi, 1998).

As seguintes variáveis gerais foram consideradas no desenvolvimento de fatores de segurança para campos de alta frequência:

- efeitos da exposição a CEM sob condições ambientais severas (temperatura alta, etc.) e/ou elevados níveis de atividades; e
- a sensibilidade térmica potencialmente mais elevada, em certos grupos da população, como os fracos e/ou idosos, bebês e crianças pequenas e pessoas doentes ou tomando medicamentos que comprometem a tolerância térmica.

Os fatores adicionais seguintes foram levados em conta ao derivar os níveis de referência para campos de alta frequência:

- diferenças na absorção de energia eletromagnética por indivíduos de diferentes tamanhos e orientações relativas ao campo; e
- reflexão, focalização e espalhamento do campo incidente, podendo resultar numa maior absorção localizada da energia de alta frequência.

Restrições Básicas

Foram usadas bases científicas diferentes no desenvolvimento de restrições básicas para as exposições em várias faixas de frequências:

- Entre 1 Hz e 10 MHz, foram estabelecidas restrições básicas na densidade de corrente para evitar efeitos em funções do sistema nervoso;

- Entre 100 kHz e 10 GHz, foram estabelecidas restrições básicas na SAR, para evitar o estresse causado por aquecimento do corpo inteiro e o aquecimento excessivo localizado em tecidos; sendo que na faixa de 100 kHz a 10 MHz as restrições abrangem tanto a densidade de corrente, com a SAR;
- Entre 10 e 300 GHz, foram estabelecidas restrições básicas na densidade de potência, para evitar aquecimento excessivo em tecidos superficiais ou próximos à superfície do corpo.

Na faixa de frequências de poucos Hz a 1 kHz, e em níveis de intensidade de corrente induzida superiores a 100 mA.m^{-2} , são excedidos os limiares para mudanças agudas na excitabilidade do sistema nervoso central e para outros efeitos agudos, como a reversão do potencial evocado visualmente.

Tendo em vista as considerações de segurança feitas acima, foi decidido que, para frequências na faixa de 4 Hz a 1 kHz, a exposição ocupacional deve ser limitada a campos que induzem densidades de corrente menores que 10 mA.m^{-2} ; ou seja, decidiu-se usar um fator de segurança igual a 10. Para o público em geral, foi adotado um fator adicional de 5, resultando uma restrição básica para a exposição, de 2 mA.m^{-2} . Abaixo de 4 Hz e acima de 1 kHz, as restrições básicas para densidade de corrente induzida aumentam progressivamente, correspondendo ao aumento do limiar para a estimulação de nervos nessas faixas de frequências.

Efeitos biológicos e na saúde, estabelecidos na faixa de frequências de 10 MHz até alguns GHz, são consistentes com respostas a uma elevação da temperatura corporal superior a 1°C .

Em condições ambientais moderadas, este nível de aumento de temperatura resulta da exposição de pessoas a uma SAR de corpo inteiro de aproximadamente 4 W.kg^{-1} durante cerca de 30 min.

Por essa razão, uma SAR média, de corpo inteiro, de $0,4 \text{ W.kg}^{-1}$, foi escolhida como sendo a restrição que garante proteção adequada no caso de exposição ocupacional. Um fator de segurança adicional, igual a 5, foi introduzido para a exposição do público em geral, resultando, assim, um limite de $0,08 \text{ W.kg}^{-1}$ para a SAR média de corpo inteiro.

As restrições básicas inferiores para a exposição do público em geral, levam em conta o fato de que a idade e o estado de saúde podem diferir do caso de trabalhadores.

Na faixa de frequências mais baixas, presentemente há poucos dados relacionando correntes transitórias com efeitos à saúde. A ICNIRP, portanto, recomenda que os valores indicados nas restrições para densidades de correntes induzidas por transitórios, ou campos com picos de duração muito curta, sejam tomados como valores instantâneos e não como médias temporais.

As restrições básicas para densidades de corrente, SAR média de corpo inteiro e SAR localizada, para frequências entre 1 Hz e 10 GHz, são apresentadas na Tabela 4. As restrições básicas para a densidade de potência, na faixa de frequências de 10 a 300 GHz, são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 4 - Restrições básicas para campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo, até 10 GHz.^a

Características da exposição	Faixa de frequências	Densidade de corrente para cabeça e tronco (mA.m ⁻²) (v. eficaz)	SAR média de corpo inteiro (W.kg ⁻¹)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W.kg ⁻¹)	SAR localizada (membros) (W.kg ⁻¹)
Ocupacional	Até 1 Hz	40	-	-	-
	1 - 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Público em geral	Até 1 Hz	8	-	-	-
	1 - 4 Hz	8/ f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

^a Nota:

1. f é a frequência em hertz.

2. Devido à inhomogeneidade elétrica do corpo, as densidades de corrente devem ser calculadas pela média tomada sobre uma seção transversal de 1 cm² perpendicular à direção da corrente.

3. Para frequências até 100 kHz, valores de pico da densidade de corrente podem ser obtidos multiplicando-se o valor eficaz por $\sqrt{2}$ (~1,414). Para pulsos de duração t_p , a frequência equivalente a ser usada nas restrições básicas deve ser calculada por $f = 1/(2t_p)$.

4. Para frequências até 100 kHz e para campos magnéticos pulsados, a densidade de corrente máxima associada aos pulsos pode ser calculada pelos tempos de subida/descida e o máximo da variação, no tempo, da densidade de fluxo magnético.

A densidade de corrente induzida pode então ser comparada com a restrição básica apropriada

5. Todos os valores de SAR devem ter sua média avaliada ao longo de qualquer intervalo de 6 minutos.

6. No cálculo do valor médio da SAR localizada, deve ser utilizada massa de 10 g de tecido contíguo. A SAR máxima assim obtida deve ser usada para a estimativa da exposição.

7. Para pulsos de duração t_p , a frequência equivalente a ser usada nas restrições básicas deve ser calculada por $f = 1/(2t_p)$. Deve-se adicionar que, a fim de evitar efeitos auditivos causados por expansão termoelástica, recomenda-se uma restrição básica adicional, para exposições pulsadas na faixa de frequências de 0,3 a 10 GHz e para exposição localizada da cabeça, ou seja, que a SA não exceda 10 mJ.kg⁻¹ para trabalhadores e 2mJ.kg⁻¹ para o público em geral, calculando-se a média em 10 g de tecido.

Tabela 5 - Restrições básicas para densidade de potência, nas frequências de 10 a 300 GHz.^a

Características da exposição	Densidade de potência (W.m ⁻²)
Exposição ocupacional	50
Público em geral	10

^a Nota :

1. Os valores médios das densidades de potência devem ser calculados sobre 20 cm² de qualquer área exposta e num período qualquer de $68/f^{1,05}$ minutos (frequência f em GHz) a fim de compensar pela diminuição progressiva da profundidade de penetração com o aumento da frequência.

2. A média dos valores máximos espaciais de densidade de potência calculados sobre 1cm², não deve ser maior do que os valores acima indicados.

NÍVEIS DE REFERÊNCIA

Onde apropriado, os níveis de referência são obtidos das restrições básicas por modelamento matemático e por extrapolação de resultados de investigações de laboratório em frequências específicas. Os níveis são dados para a condição de acoplamento máximo do campo com o indivíduo exposto, fornecendo, dessa forma, o máximo de proteção.

As Tabelas 6 e 7 resumiam os níveis de referência para exposição ocupacional e exposição do público em geral, respectivamente. Os mesmos níveis são ilustrados nas Figuras 1 e 2.

Deve-se entender os níveis de referência como valores médios espaciais, calculados sobre o corpo inteiro do indivíduo exposto, mas com a importante condição de que as restrições básicas para exposição localizada não sejam excedidas.

Para campos de baixa frequência, foram desenvolvidos vários métodos de computação e métodos de medida para derivar níveis de referência de intensidade de campo a partir das restrições básicas.

As simplificações que foram usadas até o presente não levaram em conta fenômenos tais como a distribuição não homogênea e a anisotropia da condutividade elétrica e de outras propriedades dos tecidos, de importância para estes cálculos.

A dependência dos níveis de referência com relação à frequência é consistente com dados relativos a efeitos biológicos e acoplamento do campo.

Modelos para o campo magnético, admitem que o corpo tem condutividade homogênea e isotrópica, e utilizam caminhos condutivos fechados, circulares, para estimar as intensidades de correntes induzidas em diferentes órgãos e partes do corpo, por exemplo na cabeça, utilizando a seguinte equação, para campo senoidal de frequência f , conforme resulta da lei da indução, de Faraday :

$$J = pR f \sigma B \quad (4)$$

onde B é a densidade de fluxo magnético e R é o raio do caminho considerado para a indução da corrente [e σ é a condutividade]. Modelos mais complexos utilizam um modelo elipsoidal do tronco ou do corpo inteiro, para estimar as densidades de corrente induzidas sobre a superfície do corpo (Relly 1989, 1992).

Se, por simplicidade, for admitida uma condutividade homogênea de $0,2 \text{ S.m}^{-1}$, uma densidade de fluxo magnético de 50 Hz e $100 \mu\text{T}$ gera densidades de corrente entre $0,2$ e 2 mA.m^{-2} na área periférica do corpo (CRP 1997). De acordo com outra análise (NAS 1996), níveis de exposição de 60 Hz e $100 \mu\text{T}$ correspondem a densidades médias de corrente de $0,28 \text{ mA.m}^{-2}$ e a densidades de corrente máximas de aproximadamente 2 mA.m^{-2} . Cálculos mais realísticos baseados em modelos anatomicamente e eletricamente refinados (Xi e Stuchly 1994), resultaram em densidades de corrente máximas excedendo 2 mA.m^{-2} para um campo de $100 \mu\text{T}$ e 60 Hz . Porém, a presença de células biológicas afeta a distribuição espacial de correntes induzidas e campos, resultando em diferenças significativas na magnitude (maior por um fator de 2) e no fluxo da corrente induzida, em comparação com o previsto por análises simplificadas (Stuchly e Xi 1994).

Modelos de campo elétrico devem levar em conta o fato que, dependendo das condições da exposição, do tamanho, da forma e posição do corpo exposto no campo, a densidade da carga da superfície pode variar muito, resultando numa distribuição de correntes variável e não uniforme dentro do corpo.

Para campos elétricos senoidais em frequências abaixo de 10 MHz, aproximadamente, a intensidade da densidade da corrente induzida no interior do corpo aumenta com a frequência.

A distribuição da densidade de corrente induzida varia inversamente com a seção transversal do corpo e pode ser relativamente alta no pescoço e nos tornozelos. O nível de exposição de 5 kV.m^{-1} para exposição do público em geral, corresponde, nas piores condições, a uma densidade de corrente induzida de quase 2 mA.m^{-2} no pescoço e no tronco, se o vetor campo E for paralelo ao eixo do corpo (ILO 1994; CRP 1997).

Todavia a densidade de corrente induzida por 5 kV.m^{-1} obedece às restrições básicas, nas piores condições reais de exposição.

Com o objetivo de demonstrar concordância com as restrições básicas, os níveis de referência para campos elétricos e magnéticos devem ser considerados separadamente e não aditivamente. Isto porque, para fins de proteção, as correntes induzidas por campos elétricos e magnéticos não são aditivas.

No caso específico de exposições ocupacionais, nas frequências até 100 kHz, os campos elétricos derivados podem ser aumentados por um fator de 2, sob condições em que podem ser excluídos efeitos indiretos adversos resultantes de contato com condutores eletricamente carregados.

Nas frequências acima de 10 MHz, as intensidades derivadas do campo elétrico e magnético foram obtidas da restrição básica para a SAR de corpo inteiro, usando dados computacionais e experimentais. No pior dos casos, o acoplamento de energia alcança um máximo entre 20 MHz e várias centenas de MHz. Nesta faixa de frequências, os níveis de referência derivados têm valores mínimos. As intensidades derivadas do campo magnético foram calculadas a partir do campo elétrico, usando a relação entre E e H ($E/H = 377 \Omega$) válida no campo distante. No campo próximo, as curvas de dependência da SAR com a frequência não são mais válidas; além do que, as contribuições das componentes do campo elétrico e magnético têm que ser consideradas separadamente. Para uma aproximação conservadora, os níveis de exposição de campo podem ser usados para avaliação no campo próximo, já que o acoplamento da energia associada ao campo elétrico e magnético não pode exceder as restrições na SAR. Para uma avaliação menos conservadora, devem ser usadas as restrições básicas na SAR média de corpo inteiro e na SAR localizada.

Níveis de referência para a exposição do público em geral, têm sido obtidos dos níveis para exposição ocupacional, usando vários fatores cobrindo a inteira faixa de frequências. Estes fatores foram escolhidos na base de efeitos que são reconhecidos como específicos e relevantes nas várias faixas de frequências. De modo geral, os fatores acompanham as restrições básicas, em toda a faixa de frequências, e seus valores correspondem à relação matemática entre os níveis das restrições básicas e os níveis derivados, conforme descrito abaixo:

- Na faixa de frequências até 1 kHz, os níveis de referência para campos elétricos, para o público em geral, são metade dos valores estabelecidos para exposição ocupacional. O valor de 10 kV.m^{-1} para uma exposição ocupacional em 50 Hz ou $8,3 \text{ kV.m}^{-1}$ em 60 Hz, inclui uma margem de segurança suficiente para prevenir efeitos de estimulação por correntes de contato, sob todas as condições possíveis. Metade deste valor foi escolhido para níveis de referência para o público em geral, i.e., 5 kV.m^{-1} para 50 Hz ou $4,2 \text{ kV.m}^{-1}$ para 60 Hz, a fim de prevenir efeitos indiretos adversos para mais de 90% dos indivíduos expostos.

Tabela 6 – Níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados)^a

Faixas de frequência	Intensidade de campo E (V.m^{-1})	Intensidade de campo H (A.m^{-1})	Campo B (μT)	Densidade de potência de onda plana equivalente S_{eq} (W.m^{-2})
Até 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 – 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-
0,025 – 0,82 Hz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	-
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 – 1 MHz	610	$1,6/f$	$2,0/f$	-
1 – 10 MHz	$610/f$	$1,6/f$	$2,0/f$	-
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2 000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

^a Nota:

1. f conforme indicado na coluna de faixas de frequências.
2. Os valores de campo podem ser excedidos, desde que sejam obedecidas as restrições básicas e sejam excluídos efeitos indiretos adversos.
3. Para frequências entre 100 kHz e 10 GHz, devem-se calcular os valores médios de S_{eq} , E^2 , H^2 e B^2 , em qualquer período de 6 min.
4. Para valores de pico em frequências até 100 kHz, veja Tabela 4, nota 3.
5. Para valores de pico em frequências excedendo 100 kHz, veja Figuras 1 e 2. Entre 100 kHz e 10 MHz, os valores de pico para intensidade de campo são obtidos por interpolação entre 1,5 vezes o valor de pico em 100 kHz e 32 vezes o valor de pico em 10 MHz. Para frequências superiores a 10 MHz, sugere-se que a média do máximo da densidade de potência da onda plana equivalente, calculada no intervalo de duração do pulso, não exceda 1000 vezes as restrições sobre S_{eq} , ou que a intensidade do campo não exceda 32 vezes o nível de exposição dado para a intensidade de campo.
6. Para frequências superiores a 10 GHz, devem-se calcular os valores médios de S_{eq} , E^2 , H^2 e B^2 , em qualquer período de $68f^{1,05}$ min (f em GHz).
7. Nenhum valor de intensidade de campo E é indicado para frequências menores do que 1 Hz. Nessas frequências, os campos são efetivamente estáticos. Choque elétrico provocado por fontes de baixa impedância é evitado por procedimentos de segurança elétrica estabelecidos para tal equipamento.

Tabela 7 – Níveis de referência para exposição do público em geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo. (valores eficazes, não perturbados)^a

Faixas de frequência	Intensidade de campo E (V.m ⁻¹)	Intensidade de campo H (A.m ⁻¹)	Campo B (μT)	Densidade de potência de onda plana equivalente S _{eq} (W.m ⁻²)
Até 1 Hz	-	3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	-
1 – 8 Hz	10 000	3,2 x 10 ⁴ /f ²	4 x 10 ⁴ /f ²	-
8 – 25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	-
0,025 – 0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8 – 3 kHz	250/f	5	6,25	-
3 – 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1 – 10 MHz	87f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092/f	2
400 – 2 000 MHz	1,375f ^{1/2}	0,0037f ^{1/2}	0,0046f ^{1/2}	f/200
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

^a Nota:

1. f conforme indicado na coluna de faixas de frequências.
2. Os valores de campo podem ser excedidos, desde que sejam obedecidas as restrições básicas e sejam excluídos efeitos indiretos adversos.
3. Para frequências entre 100 kHz e 10 GHz, devem-se calcular os valores médios de S_{eq}, E², H² e B² em qualquer período de 6min.
4. Para valores de pico em frequências até 100 kHz, veja Tabela 4, nota 3.
5. Para valores de pico em frequências excedendo 100 kHz, veja Figuras 1 e 2. Entre 100 kHz e 10 MHz, os valores de pico para intensidade de campo são obtidos por interpolação entre 1,5 vezes o valor de pico em 100 kHz e 32 vezes o valor de pico em 10 MHz. Para frequências superiores a 10 MHz, sugere-se que a média dos máximos da densidade de potência da onda plana equivalente, calculada no intervalo de duração do pulso, não exceda 1.000 vezes as restrições sobre S_{eq}; ou que a intensidade do campo não exceda 32 vezes o nível de exposição dado para a intensidade de campo.
6. Para frequências superiores a 10 GHz, devem-se calcular os valores médios de S_{eq}, E², H² e B², em qualquer período de 68f^{1,05} min (f em GHz).
7. Nenhum valor de intensidade de campo E é dado para frequências <1Hz. Nessas frequências, os campos são efetivamente estáticos. A percepção de cargas elétricas superficiais não ocorre para intensidades de campo menores do que 25 kV.m⁻¹. Devem-se evitar faiscamentos causadores de estresse ou irritação.

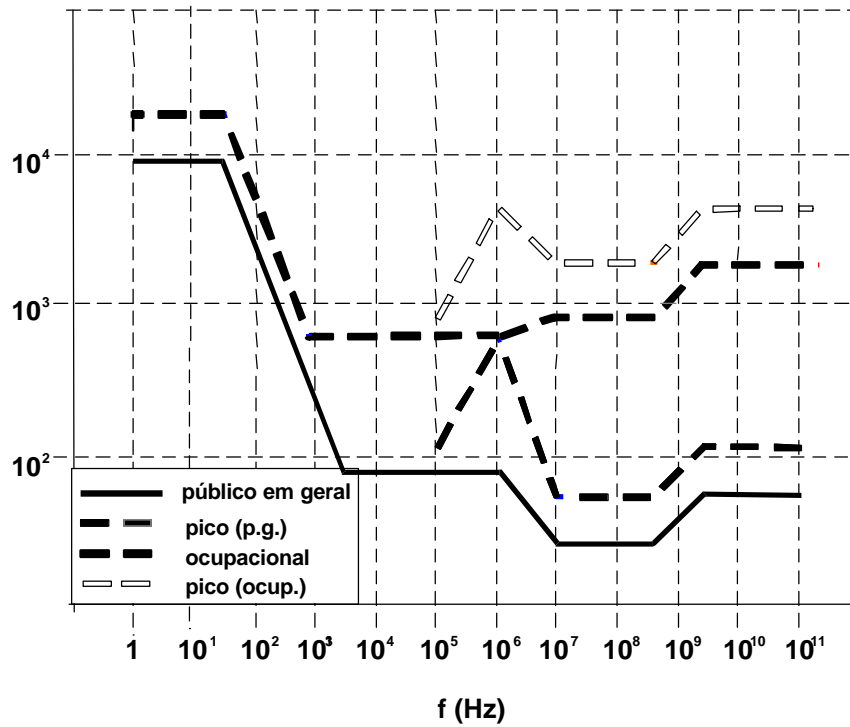


Fig. 1 – Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo (ver Tabelas 6 e 7).

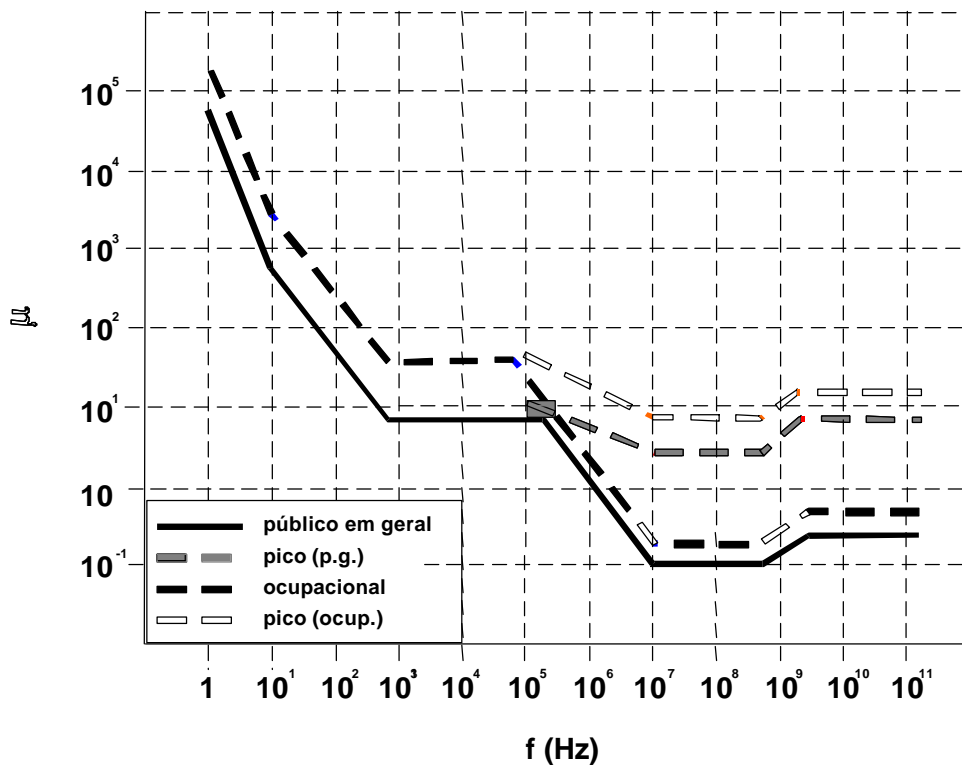


Fig. 2 – Níveis de referência para exposição a campos magnéticos variáveis no tempo (ver Tabelas 6 e 7).

- Na faixa de baixas frequências até 100 kHz, os níveis de referência para o campo magnético, para o público em geral, são 5 vezes inferiores aos correspondentes níveis para exposição ocupacional.
- Na faixa de frequências de 100 kHz – 10 MHz, os níveis de referência para o campo magnético, para o público em geral, foram aumentados em comparação com os limites dados na diretriz da IRPA em 1998. Nessa diretriz, os níveis de referência da intensidade de campo magnético foram calculados a partir dos níveis de referência da intensidade de campo elétrico, usando a fórmula que relaciona E e H no campo distante. Estes níveis de referência são muito conservadores, já que o campo magnético nas frequências abaixo de 10 MHz não contribui significativamente para o risco de choques, queimaduras, ou efeitos de carga superficial, que servem de base principal para limitar a exposição ocupacional a campos elétricos nessa faixa de frequências.
- Na faixa de altas frequências, de 10 MHz – 10 GHz, os níveis de referência para campos elétricos e magnéticos, para o público em geral, são mais baixos, por um fator de 2,2 vezes, do que aqueles fixados para a exposição profissional. O fator 2,2 corresponde à raiz quadrada de 5, que é o fator de segurança entre as restrições básicas para exposição ocupacional e aquelas para a exposição do público em geral. A raiz quadrada é usada para relacionar “intensidade de campo” e “densidade de potência”.
- Na faixa de altas frequências, de 10 – 300 GHz, os níveis de referência do público em geral são definidos pela densidade de potência, como nas restrições básicas, e são mais baixos, por um fator de 5, do que as restrições para a exposição ocupacional.
- Embora disponha-se de pouca informação sobre a relação entre efeitos biológicos e valores de pico de campos pulsados, sugere-se que, para frequências acima de 10 MHz, o valor médio de S_{eq} , calculado sobre a largura do pulso, não exceda 1000 vezes os níveis de referência; ou que a intensidade de campo não exceda 32 vezes os níveis de referência da intensidade de campo nas Tabelas 6 e 7 ou mostrados nas Figuras 1 e 2. Para frequências entre cerca de 0,3 GHz e vários GHz, e para a exposição localizada na cabeça, a absorção específica causada por pulsos deve ser limitada, para reduzir, ou evitar efeitos auditivos causados por expansão termoelástica. Nessa faixa de frequências, o limiar da SA, de $4 - 16 \text{ mJ.kg}^{-1}$, para produzir este efeito, corresponde, para pulsos de $30 \mu\text{s}$, a valores de pico da SAR, de $130 - 520 \text{ W.kg}^{-1}$ no cérebro. Entre 100 kHz e 10 MHz, valores de pico para intensidades de campos mostrados nas Figuras 1 e 2, são obtidos por interpolação entre 1,5 vezes o valor de pico em 100 kHz e 32 vezes o valor de pico em 10 MHz.
- Nas Tabelas 6 e 7 como também nas Figuras 1 e 2, os pontos de mudança de inclinação das curvas ocorrem em frequências diferentes para níveis de referência derivados ocupacionais e para o público em geral. Isto é uma consequência dos fatores variáveis usados para derivar os níveis para o público em geral, mantendo-se a mesma dependência da frequência para ambos os níveis, ocupacional e para o público em geral.

NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA CORRENTES DE CONTATO E INDUZIDAS

Até 110 MHz, o que inclui a faixa de frequências de transmissão de rádio FM, são dados níveis de referência para correntes de contato, acima dos quais deve-se ter o cuidado de evitar riscos de choques e queimaduras. Os níveis de referência para a corrente no ponto de contato são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Níveis de referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores^a

Características de exposição	Faixa de frequências	Máxima corrente de contato (mA)
Exposição ocupacional	Até 2,5 kHz	1,0
	2,5 – 100 kHz	0,4f
	100 kHz – 110 MHz	40
Exposição de público em geral	Até 2,5 kHz	0,5
	2,5 – 100 kHz	0,2f
	100 kHz – 110 MHz	20

^a f é a frequência em kHz

Tendo em vista que os limiares para as correntes de contato que produzem respostas biológicas em crianças e mulheres adultas são aproximadamente metade e dois terços, respectivamente, dos limiares para homens adultos, os níveis de referência de corrente de contato, para o público em geral, são inferiores aos valores para a exposição ocupacional, por um fator de 2.

Para a faixa de frequências de 10 – 110 MHz, os níveis de referência para correntes em membros são inferiores às restrições básicas para a SAR localizada (veja Tabela 9).

EXPOSIÇÃO SIMULTÂNEA A CAMPOS DE FREQUÊNCIA MÚLTIPLAS

É importante determinar se, em situações de exposição simultânea a campos de frequências diferentes, estas exposições são aditivas em seus efeitos. A aditividade deve ser examinada separadamente para os efeitos de estimulação térmica e elétrica, e as restrições básicas abaixo devem ser atingidas. As fórmulas abaixo aplicam-se às frequências relevantes, em situações práticas de exposição.

Para estimulação elétrica, relevante em frequências até 10 MHz, as densidades de correntes induzidas devem ser adicionadas conforme:

$$\sum_{i=3Hz}^{10MHz} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (5)$$

Para levar em conta efeitos térmicos, relevantes acima de 100 kHz, a SAR e os valores de densidade de potência devem ser adicionados de acordo com:

$$\sum_{i=100kHz}^{10GHz} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{i>10GHz}^{300GHz} \frac{S_i}{S_L} \leq 1, \quad (6)$$

onde

J_i = densidade de corrente, na frequência i

$J_{L,i}$ = restrição para a densidade de corrente induzida, na frequência i , conforme a Tabela 4

SAR_i = SAR causada por exposição, na frequência i

SAR_L = Limite da SAR dado na Tabela 4

S_L = o limite de densidade de potência conforme a Tabela 5

S_i = a densidade de potência na frequência i

Para aplicação prática das restrições básicas, devem ser respeitados os critérios seguintes para os de níveis de referência para intensidades de campo.

Tabela 9 – Níveis de referência para correntes induzida em qualquer membro à freqüência entre 10 e 10 MHz^a

Características de exposição	Corrente (mA)
Exposição ocupacional	100
Público em geral	45

^aNota:

1. nível de referência para o público em geral é igual ao nível de referência ocupacional dividido por $\sqrt{5}$
2. Para atender à restrição básica para a SAR localizada, a raiz quadrada da média pelo tempo do quadrado da corrente induzida, calculada num período qualquer de 6 minutos, constitui a base para os níveis de referência.

Para efeitos causados por densidade de corrente induzida e estimulação elétrica, os níveis de campo devem obedecer às seguintes relações :

$$\sum_{i=1\text{MHz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (7)$$

e

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (8)$$

onde

E_i = intensidade de campo elétrica na freqüência i ;

$E_{L,i}$ = nível de referência para o campo elétrico, de acordo com as Tabelas 6 e 7;

H_j = nível de referência para o campo magnético, de acordo com as Tabelas 6 e 7;

$a = 610 \text{ V.m}^{-1}$ para exposição ocupacional e 87 V.m^{-1} para exposição do público em geral e

$b = 24,4 \text{ A.m}^{-1}$ ($30,7 \text{ }\mu\text{T}$) para a exposição ocupacional e 5 A.m^{-1} ($6,25 \text{ }\mu\text{T}$) para a exposição do público em geral

Os valores constantes a e b são usados acima de 1 MHz para o campo elétrico e acima de 65 kHz para o campo magnético, porque a somatória baseia-se em densidades de correntes induzidas e não deve ser associada a considerações relativas a efeitos térmicos. Estas últimas formam a base para os valores de $E_{L,i}$ e $H_{L,j}$ acima de 1 MHz e 65 kHz respectivamente, incluídos nas Tabelas 6 e 7.

Para levar em conta efeitos térmicos, relevantes acima de 100 kHz, os seguintes 2 requisitos devem ser aplicados aos níveis dos campos:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (9)$$

e

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1 \quad (10)$$

onde,

E_i = a intensidade de campo elétrico na freqüência i ;

$E_{L,i}$ = o nível de referência para o campo elétrico, de acordo com as Tabelas 6 e 7;
 H_j = a intensidade de campo magnético na frequência j ;
 $H_{L,i}$ = o nível de referência para o campo magnético, de acordo com as Tabelas 6 e 7;
 $c = 610/f \text{ V.m}^{-1}$ (f em MHz para exposição ocupacional e $87/f^{1/2} \text{ V.m}^{-1}$ para exposição do público em geral); e
 $d = 1,6/f \text{ A.m}^{-1}$ (f em MHz) para exposição ocupacional e $0,73/f$ para exposição do público em geral.

Para correntes nos membros e correntes de contato, respectivamente, devem ser aplicados os seguintes requisitos :

$$\sum_{k=10 \text{ MHz}}^{110 \text{ MHz}} \left(\frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1 \quad \sum_{n=1 \text{ Hz}}^{110 \text{ MHz}} \frac{I_n}{I_{C,n}} \leq 1 \quad (11)$$

onde

I_k = componente de corrente no membro, na frequência k ;
 $I_{L,k}$ = nível de referência para a corrente em membro (veja Tabela 9);
 I_n = componente de corrente de contato, na frequência n ; e
 $I_{C,n}$ = nível de referência para corrente de contato, na frequência n (veja Tabela 8).

As fórmulas com somatórias, acima, admitem condições de “pior caso” para os campos devidos a fontes múltiplas. Como resultado, em situações práticas típicas, podem ser permitidos níveis de exposição menos restritivos do que os níveis de referência dados pelas fórmulas acima.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A ICNIRP considera que as indústrias que causam exposição a campos elétricos e magnéticos são responsáveis pelo atendimento a todos os aspectos das diretrizes.

Medidas para a proteção de trabalhadores incluem controles técnicos e administrativos, programas de proteção de caráter pessoal e supervisão médica (ILO 1994). Devem-se tomar medidas de proteção adequadas quando a exposição no local de trabalho resulta acima dos níveis de referência. Como primeiro passo, devem ser aplicados controles técnicos, onde for possível reduzir em níveis aceitáveis a emissão de campos por dispositivos. Tais controles incluem um projeto que garanta a segurança e, onde for necessário, o uso de chaves de bloqueio ou mecanismos similares para proteção da saúde.

Controles administrativos, tais como as limitações de acesso e o uso de alarmes audíveis e visíveis, devem ser usados em combinação com controles técnicos. Medidas de proteção de caráter pessoal, tais como o uso de roupa protetora, não obstante úteis em certas circunstâncias, devem ser consideradas como último recurso para garantir a segurança do trabalhador. Controles técnicos e administrativos devem ter prioridade, sempre que possível. Além disso, quando recursos tais como luvas isoladas são usados para proteger indivíduos contra choques e queimaduras de alta frequência, as restrições básicas não devem ser excedidas, visto que o isolamento protege somente contra efeitos indiretos dos campos.

Com exceção da roupa protetora ou de outra proteção de caráter pessoal, as mesmas medidas podem ser aplicadas ao público em geral, sempre que haja a possibilidade de que os níveis de referência para o público em geral sejam excedidos. É também essencial estabelecer e respeitar regras que evitem:

- interferência com equipamentos eletrônicos e aparelhos médicos (inclusive marca-passos cardíacos);
- detonação de dispositivos eletro-explosivos (detonadores); e
- incêndios e explosões resultantes da ignição de materiais inflamáveis, por faíscas causadas por campos induzidos, correntes de contato ou descargas elétricas.

AGRADECIMENTOS

Reconhecemos e agradecemos o apoio recebido pela ICNIRP, da Associação Internacional de Proteção a Radiação, da Organização Mundial de Saúde, do Programa Ambiental das Nações Unidas, da Organização Internacional de Trabalho, da Comissão Européia e do Governo Alemão.

REFERENCIAS

- Adair, E. R.; Adams, B. W.; Akel, G. M. **Minimal changes in hypothalamic temperature accompany microwave-induced alteration of thermoregulatory behavior.** *Bioelectromagnetics* 5:13-30;1984.
- Adair, E. R.; Adams, B. W. **Microwaves modify thermoregulatory behavior in squirrel monkey.** *Bioelectromagnetics* 1:1-20; 1980.
- Albert, E. N.; Slaby, F.; Roche, J.; Loftus, J. **Effect of amplitude modulated 147 MHz radiofrequency radiation on calcium ion efflux from avian brain tissue.** *Radiat. Res.* 109:19-27; 1987.
- Allen, S. G.; Bernhardt, J. H.; Driscoll, C. M. H.; Grandolfo, M.; Mariutti, G. F.; Mathes, R.; Mckinlay, A.; F.; Steinmetz, M.; Vecchia, P.; Whillock, M. **Proposals for basic restrictions for protection against occupational exposures to electromagnetic non-ionizing radiation's.** Recommendations of an International Working Group set up under the auspices of the Commission of the European Communities. *Phys. Med.* VII:77-89; 1991.
- American Conference of Government Industrial Hygienists. **Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices.** Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 1996.
- Astumian, R. D.; Weaver, J. C.; Adair, R. K. **Rectification and signal averaging of weak electric fields by biological cells.** *PNAS* 92:3740-3743; 1995.
- Balcer-Kubieczet, E. K.; Harrison, G. H. **Neoplastic transformation of C3H/10T1/2 cells following exposure to 120 Hz modulated 2.45 GHz microwaves and phorbol ester tumor promoter.** *Radiat. Res.* 126:65-72; 1991.
- Baris, D.; Armstrong, B. G.; Deadman, J.; Thériault, G. **A mortality study of electrical utility workers in Quebec.** *Occ. Environ. Med.* 53:25-31; 1996.
- Barron, C. I.; Baraff, A. A. **Medical considerations of exposure to microwaves (radar).** *J. Am. Med. Assoc.* 168:1194-1199; 1958.
- Baum, A.; Mevissen, M.; Kamino, K.; Mohr, U.; Löscher, W. **A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 μ T magnetic field exposure.** *Carcinogenesis* 16:119-125; 1995.
- Bawin, S. M.; Gavalas-Medici, R. J.; Adey, W. R. **Reinforcement of transient brain rhythms by amplitude modulated VHF fields.** In: Llaurodo, J. G.; Sances, A.; Battocletti, J. H., eds. *Biological and clinical effects of low frequency magnetic and electric fields.* Springfield, IL: Charles C. Thomas; 1974: 1772-186.
- Bawin, S. M.; Kaczmarek, L. K.; Adey, W.R. **Effects of modulated VHF fields on the central nervous system.** *Ann. NY Acad. Sci.* 274:74-81; 1975.
- Beall, C.; Delzell, E.; Cole, P.; Brill, I. **Brain tumors among electronics industry workers.** *Epidemiology* 7:125-130; 1996.
- Beniashvili, D. S.; Bilanishvili, V. G.; Menabde, M. Z. **The effect of low-frequency electromagnetic fields on the development of experimental mammary tumors.** *Vopr. Onkol.* 37:937-941; 1991.
- Bergqvist, U. **Pregnancy outcome and VDU work - a review.** In: Luczak, H.; Cakir, A.; An Cakir, G., eds. *Work with display units '92-Selected Proceedings of the 3rd International Conference WWDO '92, Berlin Germany, 1-4 September 1992.* Amsterdam: Elsevier; 1993:70-76.
- Bernhardt, J. H. **The direct influence of electromagnetic fields on nerve and muscle cells of man within the frequency range of 1 Hz to 30 MHz.** *Radiat. Environ. Biophys.* 16:309-323; 1979.
- Bernhardt, J. H. **The establishment of frequency dependent limits of electric and magnetic fields and evaluation of indirect effect.** *Radiat. Environ. Biophys.* 27:1-27; 1988.
- Bernhardt, J. H. **Basic criteria of ELF-standards: worldwide achievement in public and occupational health protection against radiation.** *Proceedings of the Eighth International Congress of the International Radiation Protection Association.* Geneva: IRPA; 1992: 933-936.
- Blackman, C. F.; Elder, J. A.; Weil, C. M.; Benane, S. G.; Eichinger, D. C.; House, D. E. **Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effects of modulation frequency and field strength.** *Radio Sci.* 14:93-98; 1979.
- Blank, M., ed. **Electromagnetic fields: biological interactions and mechanisms.** Washington, DC: American Chemical Society Press; 1995.
- Bracken, M. B.; Belanger, K.; Hellembrand, K.; Dlugosz, L.; Holford, T. R.; McSharry, J. E.; Adesso, K.; Leaderer, B. **Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth.** *Epidemiol.* 6:263-270;1995
- Brent, R. L.; Beckman, D. A.; Landel, C. P. **Clinical teratology.** *Curr. Opin. Pediatr.* 5:201-211;1993.
- Byus, C. V.; Lundak, R. L.; Fletcher, R. M.; Adey, W. R. **Alterations in protein kinase activity following exposure of cultured human lymphocytes to modulated microwave fields.** *Bioelectromagnetics* 5:341-351; 1984.

- Byus, C. V.; Pieper, S. E.; Adey, W. R. **The effects of low-energy 60Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase.** *Carcinogenesis* 8:1385-1389; 1987.
- Byus, C. V.; Kartun, K.; Pieper, S.; Adey, W. R. **Increased ornithine decarboxylase activity in cultured cells exposed to low energy modulated microwave fields and phorbol ester tumor promoters.** *Cancer Res.* 48:4222-4226; 1988.
- Chatterjee, I.; Wu, D.; Gandhi, O. P. **Human body impedance and threshold currents for perception and pain for contact hazards analysis in the VLF-MF band.** *IEEE transactions on Biomedical Engineering* 33:486-494; 1986.
- Chen, J. Y.; Gandhi, O. P. **Thermal implications of high SARs in the body extremities at the ANSI-recommended MF-VHF safety levels.** *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 35:435-441; 1988.
- Chernoff, N.; Rogers, J. M.; Kavet, R. **A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields.** *Toxicology* 74:91-126; 1992.
- Chou, C.-K.; Guy, A. W.; Kunz, L. I.; Johnson, R. B.; Crowley, J. J.; Krupp, J. H. **Long-term, low-level microwave irradiation of rats.** *Bioelectromagnetics* 13:496; 1992.
- Cohen, B. H.; Lillienfield, A. M.; Kramer, A. M.; Hymen, L.C.C. **Parental factors in Down's syndrome: results of the second Baltimore case control study.** In: Hook, E. B.; Porter, I. H., eds. *Population cytogenetics---studies in humans.* New York: Academic Press; 1977:301-352.
- Coleman, M. P.; Bell, C. M.J.; Taylor, H. L.; Primic-Zakelj, M. **Leukemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study.** *Br. J. Cancer* 60:793-798; 1989.
- Commission on Radiological Protection. **Protection against low frequency electric and magnetic fields in energy supply and use. Recommendation, approved on 16th/17th February 1995.** In: *Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heft 7.* Stuttgart: Fischer; 1997.
- Cook, M. R.; Graham, C.; Cohen, H. D.; Gerkovich, M. M. **A replication study of human exposure to 60-Hz fields: effects on neurobehavioral measures.** *Bioelectromagnetics* 13:261-285; 1992
- Cridland, N. A. **Electromagnetic fields and cancer : a review of relevant cellular studies.** Chilton, UK: National Radiological Protection Board; Report NRPB-R256; 1993.
- Daels, J. **Microwave heating of the uterine wall during parturition.** *Obstet. Gynecol.* 42:76-79; 1973.
- Daels, J. **Microwave heating of the uterine wall during parturition.** *J. Microwave Power* 11:166-167; 1976.
- D'Andrea, J. A.; DeWitt, J. R.; Gandhi, O. P.; Stensaas, S.; Lords, J. L.; Neilson, H. C. **Behavioral and physiological effects of chronic 2450-MHz microwave irradiation of the rat at 05 mW/cm² .** *Bioelectromagnetics* 7:45-56; 1986.
- De Lorge, J. O.; Ezell, C. S. **Observing responses of rats exposed to 1.28- and 5.62-GHz microwaves.** *Bioelectromagnetics* 1:183-198; 1980.
- Demers, P. A.; Thomas, D. B.; Sternhagen, A.; Thompson, W. D.; Curnen, M.G.M.; Satariano, W.; Austin, D. F.; Issacson, P.; Greenber, R.S.; Key, C.; Kolonel, L. K.; West, D. W. **Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men.** *Am. J. Epidemiol.* 132:775-776; 1991.
- Dimbylow, P. J. **FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz.** *Med. Biol.* 42:479-490; 1997.
- Dimbylow, P. J.; Mann, S. M. **SAR calculations in an anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900 MHz and 1.8 GHz.** *Phys. Med. Biol.* 39:1537-1553; 1994.
- DIN VDE 0848, Teil 1, **Sicherheit in elektromagnetischen Feldern, Mess- und Berechnungsverfahren.** Berlin: Beuth-Verlag; 1995.
- Dolk, H.; Shaddick, H.; Walls, P.; Grundy, C.; Thakrar, B.; Kleinschmidt, I.; Elliot, P. **Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part I. Sutton Coldfield Transmitter.** *Am. J. Epidemiol.* 145:1-9; 1997a.
- Dolk, H.; Elliot, P.; Shaddick, G.; Walls, P.; Thakrar, B. **Cancer incidence near radio and television transmitters in Great Britain, Part II. All high-power transmitters.** *Am. J. Epidemiol.* 145:10-17; 01997b.
- Durney, C. H.; Massoudi, H.; Iskander, M. F. **Radiofrequency radiation dosimetry handbook.** Brooks Air Force Base, TX: U.S. Air Force School of Aerospace, Medical Division; Reg. No. SAM-TR-85-73; 1985.
- Feychting, M.; Ahlbom, A. **Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high voltage power lines.** *Am. J. Epidemiol.* 138:467-481; 1993.
- Feychim, M.; Ahlbom, A. **Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines.** *Epidemiology* 5:501-509; 1994.
- Feychting, M.; Kaune, T. W.; Savitz, D. A.; Ahlbom, A. **Estimating exposure in studies on residential magnetic fields and cancer.** *Epidemiology* 7:220-224; 1996.

- Floderus, B.; Persson, T.; Stenlund, C.; Wennberg, A.; Ost, A.; Knave, B. **Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden.** *Cancer Causes and Control* 4:465-476; 1993.
- Frey, A. M. **Auditory system response to radiofrequency energy.** *Aerospace Med.* 32:1140; 1961.
- Frey, A. M.; Messenger, R. **Human perception of illumination with pulsed ultra-high-frequency electromagnetic radiation.** *Science* 181:356-358; 1973.
- Fulton, J. P.; Cobb, S.; Preble, L.; Leone, L.; Forman, E. **Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island.** *Am. J. Epidemiol.* 111:292-295; 1980.
- Gandhi, O. P.; Chen, J. Y.; Riazi, A. **Current induced in a human being for plane-wave exposure conditions 0-50 MHz and for RF sealers.** *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 33:757-767; 1986.
- Gandhi, O. P. **Some numerical methods for dosimetry: extremely low frequencies to microwave frequencies.** *Radio Science* 30:161-177; 1995.
- Goodman, R.; Bassett, C. A.; Henderson, A. S. **Pulsing electromagnetic fields induce cellular transcription.** *Science* 220:1283-1285; 1983.
- Goodman, R.; Henderson, A. S. **Exposure of salivary gland cells to low-frequency electromagnetic fields alters polypeptide synthesis.** *Proc. Nat. Acad. Sci.* 85:3928-3232; 1988.
- Goodman, R.; Henderson, A. S. **Transcription and Translation in cells exposed to extremely low frequency electromagnetic fields.** *Bioelectrochem. Bioenerg.* 25:335-335; 1991.
- Graham, C.; Cook, R.; Cohen, H. D.; Gerkovich, M. M. **Dose response study of human exposure to 60 Hz electric and magnetic fields.** *Bioelectromagnetics* 15:447-463; 1994.
- Graham, C.; Cook, M. R.; Riffle, D. W.; Gerkovich, M. M.; Cohen, H.D. **Nocturnal melatonin levels in human volunteers exposed to intermittent 60 Hz magnetic fields.** *Bioelectromagnetics* 17:263-273; 1996.
- Graham, C.; Cook, M. R.; Riffle, D. W. **Human melatonin during continuous magnetic field exposure.** *Bioelectromagnetics* 18:166-171; 1997.
- Grayson, J. K. **Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US Air Force: a nested case-control study.** *Am. J. Epidemiol.* 143:480-486; 1996.
- Greene, J. J.; Skowronski, W. J.; Mullins, J.M.; Nardone, R. M. **Delineation of electric and magnetic field effects of extremely low frequency electromagnetic radiation on transcription.** *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 174:742-749; 1991.
- Guénel, P.; Nicolau, J.; Imbernom, E.; Chevalier, A.; Goldberg, M. **Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers.** *Am. J. Epidemiol.* 144:1107-21; 1996.
- Guy, A.W.; Lin, J.C.; Kramar, P.O.; Emery, A. **Effect of 2450-MHz radiation on the rabbit eye.** *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques* 23:492-498; 1975.
- Heath, C. W., Jr. **Electromagnetic field exposure and cancer: a review of epidemiologic evidence.** *Ca. Cancer J. Clin.* 46:29-44; 1996.
- Hocking, B.; Gordon, I. R.; Grain, M. L.; Hatfield, G. E. **Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers.** *Med. J. Australia* 165:601-605; 1996.
- Hoque, M.; Gandhi, O. P. **Temperature distributions in the human leg for VLF-VHF exposures at the ANSI-recommended safety levels.** *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 35:442-449; 1988.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. **Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields.** *Health Phys.* 66:100-106; 1994.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. **Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters.** *Health Phys.* 70:587-593; 1996.
- International Commission on Radiological Protection. **Human respiratory tract model for radiological protection.** Oxford: Pergamon Press: ICRP Publication 66; 1994.
- Institute of Electrical and Electronic Engineers. **Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz.** New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers; IEEE C95.1- 1991; 1992.
- International Labour Organization. **Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields.** Geneva: International Labour Office; Occupational Safety and Health Series. No. 69; 1994.
- International Radiation Protection Association/International Non Ionizing Radiation Committee. **Guidelines on limits of exposures to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz.** *Health Phys.* 54:115-123; 1988.
- International Radiation Protection Association/International Non-Ionizing Radiation Committee. **Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields.** *Health Phys.* 58:113-121; 1990.
- Jokela, K.; Puranen, L.; Gandhi, O. P. **Radio frequency currents induced in the human body for medium-frequency/high-frequency broadcast antennas.** *Health Phys.* 66:237-244; 1994.

- Källén, B.; Malmquist, G.; Moritz, U. **Delivery outcome among physiotherapists in Sweden: Is non-ionizing radiation a fetal hazard?** Arch. Environ. Health 37:81-85; 1982.
- Kamimura, Y.; Sato, K.; Saiga, T.; Amemiya, Y. **Effects of 2.45 GHz microwave irradiation on monkey eyes.** IEICE Trans. Communications E77-B:762-765; 1994.
- Kirschvink, J. L.; Kobayashi-Kirschvink, A.; Diaz Ricci, J. C.; Kirschvink, S. J. **Magnetite in human tissues: a mechanism for the biological effects of weak ELF magnetic fields.** Bioelectromagnetics Suppl. 1:101-113; 1992a.
- Kirschvink, J. L.; Kobayashi-Kirschvink, A.; Woodford, B. J. **Magnetite biomineralization in the human brain.** Proc. Nat. Acad. Sci. 89:7683-7687; 1992b.
- Kues, H. A.; Hirst, L. W.; Luty, G. A.; D'Anna S. A.; Dunkelberger, G. R. **Effects of 2.45-GHz microwaves on primate corneal endothelium.** Bioelectromagnetics 6:177-188; 1985.
- Kuster, N.; Balzano, Q. **Energy absorption mechanisms by biological bodies in the near-field of dipole antennas.** IEEE Transactions on Vehicular Technology 42:17-23; 1992.
- Lacy-Hulbert, A.; Wilkins, R. C.; Hesketh, T. R.; Metcalfe, J. C. **No effect of 60 Hz electromagnetic fields on MYC or beta-actin expression in human leukemic cells.** Rad. Res. 144:9-17; 1995.
- Lai, H.; Singh, N. P. **Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells.** Bioelectromagnetics 16:207-210; 1995.
- Lai, H.; Singh, N. P. **Single-and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation.** Int. J. Radiation Biol. 69:513-521; 1996.
- Larsen, A. I.; Olsen, J.; Svane, O. **Gender-specific reproductive outcome and exposure to high-frequency electromagnetic radiation among physiotherapists.** Scand. J. Work Environ. Health 17:324-329; 1991.
- Li, D.; Ceckoway, H.; Mueller, B. A. **Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility.** Epidemiology 6:485-489; 1995.
- Li, C. Y.; Thériault, G.; Lin, R. S. **Epidemiological appraisal of studies of residential exposure to power frequency magnetic fields and adult cancers.** Occup. Environ. Med. 53:505-510; 1996.
- Liburdy, R. P. **Biological interactions of cellular systems with time-varying magnetic fields.** Ann. NY Acad. Sci. 649:74-95; 1992.
- Lillienfeld, A. M.; Tonascia, J.; Tonascia, S.; Libauer, C. A.; Cauthen, G. M. **Foreign service health status study-evaluation of health of foreign service and other employees from selected eastern European posts. Final report.** Washington, DC: Department of State; Contract No. 6025-619073, NTIS PB-288163; 1978.
- Lin, J. C. **Microwave auditory effects and applications.** Spring-field, IL: Charles C. Thomas; 1978.
- Lindbohm, M. L.; Hietanen, M.; Kyyrönen, P.; Sallmen, M.; van Nandelstadh, P.; Taskinen, H.; Pekkarinen, M.; Ylikoski, M.; Hemminki, K. **Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion.** Am. J. Epidemiol. 136:1041-1051; 1992.
- Linnet, M. S.; Hatch, E. E.; Kleinerman, R. A.; Robinson, L. L.; Kaune, W. T.; Friedman, D. R.; Severson R. K.; Haines, C. M.; Hartsock, C. T.; Niwa, S.; Wacholder, S.; Tarone, R. E. **Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children.** New Eng. J. Med. 337:1-7; 1997.
- Litovitz, T. A.; Krause, D.; Mullins, J. M. **Effect of coherence time of the applied magnetic field on ornithine decarboxylase activity.** Biochem. Biophys. Res. Comm. 178:862-865; 1991.
- Litovitz, T. A.; Montrose, C. J.; Wang, W. **Dose-response implications of the transient nature of electromagnetic-field-induced bioeffects: theoretical hypotheses and predictions.** Bioelectromagnetics Suppl. 1:237-246; 1992.
- Litovitz, T. A.; Krause, D.; Penafiel, M.; Elson, E. C.; Mullins, J. M. **The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity.** Bioelectromagnetics 14:395-403; 1993.
- Löscher, W.; Mevissen, M.; Lehmacher, W.; Stamm, A. **Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field.** Cancer Letters 71:75-81; 1993.
- Löscher, W.; Mevissen, M. **Linear relationship between flux density and tumor co-promoting effect of prolonging magnetic exposure in a breast cancer model.** Cancer Letters 96:175-180; 1995.
- Lövsund, P.; Öberg, P.; Nilsson, S. E. G. **Magneto and electrophosphenes: a comparative study.** Med. Biol. Eng. Computing 18:758-764; 1980.
- London, S. J.; Thomas, D. C.; Bowman, J. D.; Sobel, E.; Cheng, T. C.; Peters, J. M. **Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia.** Am. J. Epidemiol. 134:923-937; 1991.
- Loomis, D. P.; Savitz, D. A.; Ananth, C. V. **Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States.** J. Nat. Cancer Inst. 86:921-925; 1994.
- Lyle, D. B.; Schechter, P.; Adey, W. R.; Lundak, R. L. **Suppression of T-lymphocyte cytotoxicity following exposure to sinusoidally amplitude-modulated fields.** Bioelectromagnetics 4:281-292; 1983.

- Magin, R. L.; Liburdy, R. P.; Persson, B. **Biological effects and safety aspects of nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy.** Ann. NY Acad. Sci. 649; 1992.
- Matanoski, G. M.; Breyse, P. N.; Elliott, E. A. **Electromagnetic field exposure and male breast cancer.** Lancet 337:737; 1991.
- McCann, J.; Dietrich, F.; Rafferty, C.; Martin, A. **A critical review of the genotoxic potential of electric and magnetic fields.** Mutation Res. 297:61-95; 1993.
- McDowall, M. **Mortality in persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities.** Br. J. Cancer 53:271-279; 1985.
- McKinley, A. F.; Andersen, J. B.; Bernhardt, J. H.; Grandolfo, M.; Hossmann, K. A.; Mild, K. H.; Swerdlow, A. J.; Van Leeuwen, M.; Verschaeve, L.; Veyret, B. **Radiotelephones and human health - Proposal for a European research programme.** Report of a European Commission Expert Group. Brussels: European Commission Directorate General XIII; 1996.
- McLean, J.; Stuchly, M. A.; Mitchel, R. E.; Wilkinson, D.; Yang, H.; Goddard, M.; Lecuyer, D. W.; Schunk, M.; Callary, E.; Morrison, D. **Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response.** Bioelectromanetics 12:273-287; 1991.
- Mevisen, M.; Stamm, A.; Buntenkötter, S.; Zwingelberg, R.; Wahnschaffe, U.; Löscher, W. **Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7,12-dimethylbenz(a)anthracene in rats.** Bioelectromagnetics 14:131-143; 1993.
- Mevisen, M.; Kietzmann, M.; Lösche, W. **In vivo exposure of rats to weak alternating magnetic field increases ornithine decarboxylase activity in the mammary gland by a similar extent as the carcinogen DMBA.** Cancer Letters 90:207-214; 1995.
- Michaelis, J.; Schüz, J.; Meinert, R.; Menger, M.; Grigat, J., P.; Kaatsch, P.; Käerner, H. **Childhood leukemia and electromagnetic fields: results of a population-based case-control study in Germany.** Cancer Causes and Control 8:167-174; 1997.
- Michaelson, S. M. **Biological effects and health hazards of RF and MW energy: fundamentals and overall phenomenology.** In: Grandolfo, M.; Michaelson, S. M.; Rindi, A., eds. Biological affects and dosimetry of nonionizing radiation. New York: Plenum Press; 1983: 337-357.
- Michaelson, S. M.; Elson, E. C. **Modulated fields and 'window' effects.** In: Polk, C.; Postow, E., eds. Biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press; 1996: 435-533.
- Milham, S. Jr. **Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields.** New Engl. J. Med. 307:249; 1982.
- Miller, A. B.; To, T.; Agnew, D. A.; Wall, C.; Green, L. M. **Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric fields among Ontario electric utility workers.** Am. J. Epidemiol. 144:150-160; 1996.
- Murphy, J. C.; Kaden, D. A.; Warren, J.; Sivak, A. **Power frequency electric fields: a review of genetic toxicology.** Mutation Res. 296:221-240; 1993.
- Myers, A.; Cartwright, R. A.; Bonnell, J. A.; Male, J.C.; Cartwright, S. C. **Overhead power lines and childhood cancer.** International Conference of Electric and Magnetic Fields in Med. and Biology, London, December 4-5. IEEE Conf. Publ. No. 257; 1985:126.
- National Academy of Science/National Research Council. **Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields.** Washington, DC: National Academy Press; 1996.
- National Council on Radiation Protection. **Radiofrequency electromagnetic fields. Properties, quantities and units, biophysical interaction, and measurement.** Washington, DC: National Council on Radiation Protection and Measurement; NCRP Report 67; 1981.
- National Council on Radiation Protection. **A practical guide to the determination of human exposure to radiofrequency fields.** Washington. DC: National Council on Radiation Protection and Measurement; NCRP Report 119; 1993.
- National Radiological Protection Board. **Biological effects of exposure to non-ionizing electromagnetic fields and radiation: III: Radiofrequency and microwave radiation.** Chilton UK: National Radiological Protection Board; Report R-240; 1991.
- National Radiological Protection Board. **Electromagnetic fields and the risk of cancer.** Report of an Advisory Group on Non-ionizing Radiation. Chilton, UK: National Radiological Protection Board; Documents 3(1); 1992.
- National Radiological Protection Board. **Electromagnetic fields and the risk of cancer. Summary of the views of the Advisory Group on Non-ionizing Radiation on epidemiological studies published since its 1992 report.** Chilton. UK: National Radiological Protection Board; NRPB Documents 4(5); 1993.
- National Radiological Protection Board. **Health effects related to the use of visual display units. Report by the Advisory Group on Non-ionizing Radiation.** Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB Documents 5(2); 1994a.
- National Radiological Protection Board. **Electromagnetic fields and the risk of cancer. Supplementary report by the Advisory Group on Non-ionizing Radiation of 12 April 1994.** Radiol. Prot. Bull. 154:10-12; 1994b.

- Olsen, J. H.; Nielsen, A.; Schulgen, G. **Residence near high-voltage facilities and the risk of cancer in children.** Danish Cancer Registry; AG-NIR, 1-26; 1993.
- Oak Ridge Associated Universities. **Health effects of low-frequency electric and magnetic fields.** Oak Ridge, TN: Oak Ridge Associated Universities; ORAU 92/F9; 1992.
- Ouellet-Hellstrom, R., Stewart, W. F. **Miscarriages among female physical therapists, who report using radio- and microwave-frequency electromagnetic radiation.** Am. J. Epidemiol. 138:775-786; 1993.
- Phillips, J. L.; Haggren, W.; Thomas, W. J.; Ishida-Jones, T.; Adey, W. R. **Magnetic field-induced changes in specific gene transcription.** Biochim. Biophys. Acta 1132:40-144; 1992.
- Polk, C.; Postow, E. **Biological effects of electromagnetic fields.** 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 1996.
- Polson, M. J. R., Barker, A. T.; Freeston, I. L. **Stimulation of nerve trunks with time-varying magnetic fields.** Med. Biol. Eng. Computing 20:243-244; 1982.
- Postow, E.; Swicor, M. L. **Modulated fields and 'window' effects.** In: Polk, C.; Postow, E., eds. Handbook of biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press; 1996: 535-580.
- Preston-Martin, S.; Peters, J. M.; Yu, M. C.; Garabrant, D. H.; Bowman, J. D. **Myelogenous leukemia and electric blanket use.** Bioelectromagnetics 9:207-213; 1988.
- Preston-Martin, S.; Navidi, W.; Thomas, D.; Lee, P. J.; Bowman, J.; Pogoda, J. **Los Angeles study of residential magnetic fields and childhood brain tumors.** Am. J. Epidemiol. 143:105-119; 1996a.
- Preston-Martin, S.; Gurney, J. G.; Pogoda, J. M.; Holly, E. A.; Mueller, B. **Brain tumor risk in children in relation to use of electric blankets and water bed heaters: results from the United States West Coast Childhood Brain Tumor Study.** AM. J. Epidemiol. 143:1116-1122; 1996b.
- Ramsey, J. D.; Kwon, Y. C. **Simplified decision rules for predicting performance loss in the heat.** In: Proceedings, Seminar on heat stress indices. Luxembourg: CEC; 1988.
- Rannug, A.; Ekström, T.; Mild, K. H.; Holmberg, B.; Gimenez-Conti, I.; Slaga, T. J. **A study on skin tumour formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure.** Carcinogenesis 14:573-578; 1993a.
- Rannug, A.; Holmberg, B.; Ekström, T.; Mild, K. H. **Rat liver foci study on coexposure with 50 Hz magnetic fields and known carcinogens.** Bioelectromagnetics 14:17-27; 1993b.
- Rannug, A.; Holmberg, B.; Mild, K. H. **A rat liver foci promotion study with 50-Hz magnetic fields.** Environ. Res. 62:223-229; 1993c.
- Rannug, A.; Holmberg, B.; Ekström, T.; Mild, K. H.; Gimenez-Conti, I.; Slaga, T. J. **Intermittent 50 Hz magnetic field and skin tumour promotion in Sencar mice.** Carcinogenesis 15:153-157; 1994.
- Reilly, J. P. **Peripheral nerve stimulation by induced electric currents: exposure to time-varying magnetic fields.** Med. Biol. Eng. Computing 3:101-109; 1989.
- Reilly, J. P. **Electrical stimulation and electropathology.** Cambridge, MA: Cambridge University Press; 1992.
- Repacholi, M. H. **Low-level exposure to radiofrequency fields: health effects and research needs.** Bioelectromagnetics 19:1-19; 1998.
- Repacholi, M. H.; Stolwijk, J. A. J. **Criteria for evaluating scientific literature and developing exposure limits.** Rad. Protect. Australia 9:79-84; 1991.
- Repacholi, M. H.; Cardis, E. **Criteria for EMF health risk assessment.** Rad. Protect. Dosim. 72:305-312; 1997.
- Repacholi, M. H.; Basten, A.; Gebiski, V.; Noonan, D.; Finnie, J.; Harris, A. W. **Lymphomas in $\text{E}\mu\text{-Pim}1$ transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields.** Rad. Res. 147:631-640; 1997.
- Robinette, C. D.; Silverman, C.; Jablon, S. **Effects upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar).** Am. J. Epidemiol. 112:39-53; 1980.
- Rothman, K. J.; Chou, C. K.; Morgan, R.; Balzano, Q.; Guy, A. W.; Funch, D. P.; Preston-Martin, S.; Mandel, J.; Steffens, R.; Carlo, G. **Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research.** Epidemiology 7:291-298; 1996a.
- Rothman, K. J.; Loughlin, J. E.; Funch, D. P.; Dreyer, N. A. **Overall mortality of cellular telephone customers.** Epidemiology 7:303-305; 1996b.
- Ruppe, I.; Hentschel, K.; Eggert, S.; Goltz, S. **Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von 50 Hz Magnetfeldern.** Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Fb 11.003; 1995 (in German).
- Saffer, J. D.; Thurston, S. J. **Cancer risk and electromagnetic fields.** Nature 375:22-23; 1995.
- Salford, L. G.; Brun, A.; Eberhardt, J. L. **Experimental studies of brain tumor development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation.** Bioelectrochem. Bioenerg. 30:313-318; 1993.
- Sander, R.; Brinkmann, J.; Kühne, B. **Laboratory studies on animals and human beings exposed to 50 Hz electric and magnetic fields.** CIGRE, International Congress on Large High Voltage Electric Systems, Paris, 1-9 September; CIGRE Paper 36-01; 1982.

- Santini, R.; Hosni, M.; Deschaux, P.; Pakeco, H. **B 16 melanoma development in black mice exposed to low-level microwave radiation.** *Bioelectromagnetics* 9:105-107; 1988.
- Sarkar, S.; Ali, S.; Behari, J. **Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis.** *Mutation Res.* 320:141-147; 1994.
- Savitz, D. A **Overview of epidemiological research on electric and magnetic fields and cancer.** *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 54:197-204; 1993.
- Savitz, D. A.; Ahlbom, A. **Epidemiologic evidence on cancer in relation to residential and occupational exposure.** In: *Biologic effects of electric and magnetic fields*, Vol. 2. New York: Academic Press; 1994: 233-262.
- Savitz, D. A.; Loomis, D. P. **Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers.** *Am. J. Epidemiol.* 141:123-134; 1995.
- Savitz, D. A.; Wachtel, H.; Barnes, F. A.; John, E. M.; Tvrdik, J. G. **Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields.** *Am. J. Epidemiol.* 128:21-38; 1988.
- Savitz, D. A.; John, E. M.; Kleckner, R. C. **Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer.** *Am. J. Epidemiol.* 131:763-773; 1990.
- Schnorr, T. M.; Grajewski, B. A.; Hornung, R.W.; Thun, M. J.; Egeland, G. M.; Murray, W. E.; Conover, D. L.; Halperin, W. E. **Video display terminals and the risk of spontaneous abortion .** *New Eng. J. Med.* 324:727-733; 1991.
- Schreiber, G. H.; Swaen, G. M.; Meijers, J. M.; Slangen, J. J.; Sturmans, F. **Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment: a retrospective cohort study.** *Int. J. Epidemiol.* 22:9-15; 1993.
- Selmaoui, B.; Lambrozo, J.; Touitou, Y. **Magnetic fields and pineal function in humans: evaluation of nocturnal acute exposure to extremely low frequency magnetic fields on serum melatonin and urinary 6-sulfatoxymelatonin circadian rhythms.** *Life Sci.* 58:1539-1549; 1996.
- Selvin, S.; Schulman, J.; Merrill, D. W. **Distance and risk measures for the analysis of spatial data: a study of childhood cancers.** *Soc. Sci. Med.* 34:769-777; 1992.
- Severson, R. K.; Stevens, R. G.; Kaune, W. T.; Thomas, D. B.; Houser, L.; Davis, S.; Server, L. E. **Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields.** *Am. J. Epidemiol.* 128:10-20; 1988.
- Shaw, G. W.; Croen, L. A. **Human adverse reproductive outcomes and electromagnetic fields exposures: review of epidemiologic studies.** *Environ. Health Persp.* 101:107-119; 1993.
- Shellock, F. C.; Crues, J. V. **Temperature, heart rate, and blood pressure changes associated with clinical imaging at 1.5 T.** *Radiology* 163:259-262; 1987.
- Sienkiewicz, Z. J.; Saunders, R. D.; Kowalczyk, C. I. **The biological effects of exposure to non-ionizing electromagnetic fields and radiation: II Extremely low frequency electric and magnetic fields.** Chilton, UK: National Radiological Protection Board; NRPB R239; 1991.
- Sienkiewicz, Z. J.; Cridland, N. A.; Kowalczyk, C. I.; Saunders, R. D. **Biological effects of electromagnetic fields and radiations.** In: Stone, W. R.; Hyde, G., eds. *The review of radio science: 1990-1992.* Oxford: Oxford University Press; 1993: 737-770.
- Silny, J. **The influence threshold of a time-varying magnetic field in the human organism.** In: Bernhardt, J. H., ed. *Biological effects of static and extremely-low-frequency magnetic fields.* Munich: MMV Medizin Verlag; 1986:105-112.
- Sliney, D.; Wolbarsht, M. **Safety with laser and other optical sources.** London: Plenum Press; 1980.
- Sobel, E.; Davanipour, Z. **EMF exposure may cause increased production of amyloid beta and eventually lead to Alzheimer's disease.** *Neurology* 47:1594-1600; 1996.
- Stern, S.; Margolin, L.; Weiss, B.; Lu, S. T.; Michaelson, S. M. **Microwaves: effects on thermoregulatory behavior in rats.** *Science* 206:1198-1202; 1979.
- Stevens, R. G. **Electric power use and breast cancer: a hypothesis.** *Am. J. Epidemiol.* 125:556-561; 1987.
- Stevens, R. G.; Davis, S.; Thomas, D. B.; Anderson, L. E.; Wilson, B. W. **Electric power, pineal function and the risk of breast cancer.** *The FASEB Journal* 6:853-860; 1992.
- Stevens, R. G.; Davis, S. **The Melatonin hypotheses: electric power and breast cancer.** *Environ. Health Persp.* 104(Suppl. 1):135-140; 1996.
- Stollery, B. T. **Effects of 50 Hz electric currents on mood and verbal reasoning skills.** *Br. J. Ind. Med.* 43:339-349; 1986.
- Stollery, B. T. **Effects of 50 Hz electric currents on vigilance and concentration.** *Br. J. Ind. Med.* 44:111-118; 1987.
- Stuchly, M. A.; McLean, J. R. N.; Burnett, R.; Goddard, M.; Lecuyer, D. W.; Mitchel, R. E. J. **Modification of tumor promotion in the mouse skin by exposure to an alternating magnetic field.** *Cancer Letters* 65:1-7; 1992.
- Stuchly, M. A.; Xi, W. **Modelling induced currents in biological cells exposed to low-frequency magnetic fields.** *Phys. Med. Biol.* 39:1319-1330; 1994.

- Szmigielski, S.; **Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation.** *Sci. Tot. Environ.* 180:9-17; 1996.
- Szmigielski, S.; Szudinski, A.; Pietraszek, A.; Bielec, M.; Wrembel, J. K. **Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450-MHz microwave radiation.** *Bioelectromagnetics* 3:179-191; 1982.
- Szmigielski, S.; Bielec, M.; Lipski, S.; Sokolska, G. **Immunologic and cancer-related aspects of exposure to low-level microwave and radiofrequency fields.** In: Marino, A. A.; ed. *Modern bioelectricity.* New York: Marcel Dekker; 1988: 861-925.
- Tenforde, T. S. **Biological interactions and human health effects of extremely-low-frequency magnetic fields.** In: Anderson, L. E.; Stevens, R. G.; Wilson, B. W. eds. *Extremely low-frequency electromagnetic fields: the question of cancer.* Columbia, OH: Battelle Press; 1990: 291-315.
- Tenforde, T. S. **Biological Interactions of extremely-low-frequency electric and magnetic fields.** *Bioelectrochem. Bioenerg.* 25:1-17; 1991.
- Tenforde, T. S. **Biological interactions and potential health effects of extremely-low-frequency magnetic fields from power lines and other common sources.** *Ann. Rev. Public Health* 13:173-196; 1992.
- Tenforde, T. S. **Cellular and molecular pathways of extremely-low-frequency electromagnetic field interactions with living systems.** In: Blank, M.; ed. *Electricity and magnetism in biology and medicine.* San Francisco, CA: San Francisco Press; 1993: 1-8.
- Tenforde, T. S. **Interaction of ELF magnetic fields with living systems.** In: Polk, C.; Postow, E., eds. *Biological effects of electromagnetic fields.* Boca Raton, FL: CRC Press; 1996: 185-230.
- Tenforde, T. S.; Kaune, W. T. **Interaction of extremely low frequency electric and magnetic with humans.** *Health Phys.* 53:585-606; 1987.
- Thériault, G.; Goldberg, M.; Miller, A. B.; Armstrong, B.; Guénel, P.; Deadman, J.; Imbernon, E.; To, T.; Chevalier, A.; Cyr, D.; Wall, C. **Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France – 1970-1989.** *Am. J. Epidemiol.* 139:550-572; 1994.
- Tofani, S.; d'Amore, G.; Fiandino, G.; Benedetto, A.; Gandhi, O. P.; Chen, J. Y. **Induced foot-currents in humans exposed to VHF radio-frequency EM fields.** *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 37:96;1995.
- Tomenius, L. **50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm county.** *Bioelectromagnetic* 7:191-207; 1986.
- Tynes, T.; Andersen, A.; Langmark, F. **Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields.** *Am. J. Epidemiol.* 136:81-88; 1992.
- Tynes, T.; Haldorsen, T. **Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines.** *Am. J. Epidemiol.* 145:219-226; 1997.
- Ueno, S. **Biological effects of magnetic and electromagnetic fields.** New York: Plenum Press; 1996.
- United Nations Environment Programme / World Health Organization / International Radiation Protection Association. **Extremely low frequency (ELF) fields.** Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 35; 1984.
- United Nations Environment Programme / World Health Organization / International Radiation Protection Association. **Magnetic fields.** Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 69; 1987.
- United Nations Environment Programme / World Health Organization / International Radiation Protection Association. **Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz).** Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 137; 1993.
- Vena, J. E.; Graham, S.; Hellman, R.; Swanson, M.; Brasure, J. **Use of electric blankets and risk of post-menopausal breast cancer.** *Am. J. Epidemiol.* 134:180-185; 1991.
- Vena, J. E.; Freudenheim, J. L.; Marshall, J. R.; Laughlin, R.; Swanson, M.; Graham, S. **Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets.** *Am. J. Epidemiol.* 140:974-979; 1994.
- Verkasalo, P. K. **Magnetic fields and leukemia: risk for adults living next to power lines.** *Scand. J. Work Environ. Health* 22(Suppl. 2): 7-55; 1996.
- Verkasalo, P. K.; Pukkala, E.; Hongisto, M. Y.; Valjus, J. E.; Jörvinen, P. J.; Heikkilä, K. V.; Koskenvuo, M. **Risk of cancer in Finnish children living close to power lines.** *Br. Med. J.* 307:895-899; 1993.
- Verkasalo, P. K.; Pukkala, E.; Kaprio, J.; Heikkilä, K. V.; Koskenvuo, M. **Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort study.** *Br. Med. J.* 313:1047-1051; 1996.
- Verreault, R.; Weiss, N. S.; Hollenbach, K. A.; Strader, C. H.; Daling, J. R. **Use of electric blankets and risk of testicular cancer.** *Am. J. Epidemiol.* 131:759-762; 1990.
- Walleczek, J. **Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signalling.** *The FASEB Journal* 6:3177-3185; 1992.

- Walleczek, J.; Liburdy, R. P. **Nonthermal 60 Hz sinusoidal magnetic-field exposure enhances $^{45}\text{Ca}^{++}$ uptake in rat thymocytes: dependence on mitogen activation.** FEBS Letters 271:157-160; 1990.
- Wertheimer, N.; Leeper, E. **Electrical wiring configurations and childhood cancer.** Am. J. Epidemiol. 109:273-284; 1979.
- Williams, G. M. **Comment on 'Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells' by Henry Lai and Narendra P. Singh.** Bioelectromagnetics 17:165; 1996.
- Xi, W.; Stuchly, M. A. **High spatial resolution analysis of electric currents induced in men by ELF magnetic fields.** Appl. Comput. Electromagn. Soc. J. 9:127-134; 1994.

APÊNDICE

Glossário

Absorção. Conforme entendida em propagação de ondas, é a atenuação da onda devida à dissipação de sua energia, ou seja, por conversão em outra forma, como, p.ex., em calor.

Absorção específica (SA). A energia absorvida por unidade de massa de tecido biológico, expressa em joule por quilograma ($J.kg^{-1}$). SA é a integral, no tempo, da taxa de absorção específica.

Barreira hematencefálica. Um conceito funcional desenvolvido para explicar porque muitas substâncias, transportadas pelo sangue, penetram facilmente em outros tecidos, mas não entram no cérebro. A “barreira” atua como se existisse uma membrana contínua forrando os vasos sanguíneos do cérebro. Essas células endoteliais dos capilares, formam uma barreira quase contínua, impedindo a entrada no cérebro de substâncias do sistema vascular.

Campo distante (Região de) Região do espaço, onde a distância a uma antena irradiante é maior do que o comprimento de onda do campo irradiado. No campo distante, as componentes de campo (E e H) e a direção de propagação, são mutuamente perpendiculares.

Campo próximo (Região de). Região onde a distância a uma antena irradiante é menor do que um comprimento de onda do campo irradiado. Nota : A intensidade de campo magnético (multiplicada pela impedância do espaço) e a intensidade de campo elétrico, são desiguais e, a distâncias da antena inferiores a um décimo do comprimento de onda, variam conforme o inverso do quadrado ou do cubo da distância, desde que as dimensões da antena sejam pequenas, se comparadas com essa mesma distância.

CEM (EMF). Campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.

Comprimento de onda. A distância, na direção de propagação, entre dois pontos sucessivos de uma onda periódica, nos quais a oscilação apresenta a mesma fase.

Condutância. O inverso da resistência. Exprime-se em siemens (S).

Condutividade elétrica (σ). Inverso da resistividade. Grandeza escalar ou vetorial, cujo produto pela intensidade de campo elétrico é igual à densidade de corrente de condução. Exprime-se em siemens por metro ($S.m^{-1}$).

Constante dielétrica. V . permissividade.

Densidade de corrente (J). Um vetor, cuja integral sobre uma superfície é igual à corrente que atravessa a superfície. A densidade média num condutor linear é igual à corrente dividida pela seção transversal do condutor. Exprime-se em ampère por metro quadrado ($A.m^{-2}$).

Densidade de fluxo magnético(B). Uma grandeza vetorial, que representa uma força que age sobre uma carga, ou cargas, em movimento. Exprime-se em tesla (T).

Densidade de potência (S). Em radiopropagação, a potência que atravessa uma área unitária normal à direção de propagação. Exprime-se em watt por metro quadrado ($W.m^{-2}$).

Dosimetria. Medida, ou determinação por cálculo, da distribuição interna da intensidade de campo elétrico, da densidade de corrente induzida, da absorção específica, ou da taxa de absorção específica, em seres humanos, ou em animais expostos a campos eletromagnéticos.

Efeito atômico. Qualquer efeito, não relacionado com calor, causado num corpo por energia eletromagnética.

ELF. Frequência extremamente baixa ; frequência inferior a 300 Hz.

Energia eletromagnética. Energia armazenada num campo eletromagnético. Exprime-se em joule (J).

Exposição ocupacional. Exposição a CEM, a que estão sujeitas pessoas durante o seu trabalho.

Exposição do público em geral. Toda exposição a CEM, a que pode estar exposta qualquer pessoa, com exceção da exposição ocupacional e a que pode ocorrer durante procedimentos médicos.

Frequência. O número de ciclos senoidais completados por uma onda eletromagnética num segundo. Exprime-se usualmente em hertz (Hz).

Impedância de onda . O quociente do número complexo (vetor) que representa o campo elétrico transversal num ponto, pelo número complexo que representa o campo magnético transversal, no mesmo ponto. Exprime-se em ohm (Ω)

Intensidade de campo elétrico (E). A força exercida sobre uma carga estacionária positiva e unitária, localizada num ponto de um campo elétrico. Exprime-se em volt por metro ($V.m^{-1}$)

Intensidade de campo magnético (H). Uma grandeza vetorial, que, juntamente com a densidade de fluxo magnético, especifica um campo magnético em qualquer ponto do espaço. Exprime-se em ampère por metro ($A.m^{-1}$).

Microondas. Radiação eletromagnética com comprimento de onda suficientemente curto, tal que permita o uso prático de guias de ondas e cavidades, na transmissão e na recepção. Nota: aplica-se geralmente o termo à radiação, ou aos campos, na faixa de frequências de 300 MHz a 300 GHz.

Onda contínua (CW). Onda cujas oscilações sucessivas são idênticas, em condições de regime estacionário.

Onda plana. Uma onda eletromagnética em que os vetores de campo elétrico e magnético localizam-se num plano perpendicular à direção de propagação da onda e a intensidade de campo magnético (multiplicada pela impedância do espaço) é igual à intensidade de campo elétrico.

Permeabilidade magnética (μ). A grandeza escalar ou vetorial, que, multiplicada pela intensidade de campo magnético, é igual à densidade de fluxo magnético. Exprime-se em henry por metro ($H.m^{-1}$). Nota: Em meios isotrópicos, a permeabilidade magnética é uma grandeza escalar; em meios anisotrópicos, é uma grandeza tensorial.

Permissividade (ϵ). Uma constante que define a influência de um meio isotrópico sobre as forças de atração ou repulsão entre corpos eletricamente carregados. Exprime-se em farad por metro ($F.m^{-1}$). Permissividade relativa é a permissividade de um material, ou meio, dividida pela permissividade do vácuo.

Profundidade de penetração. No caso de uma onda eletromagnética plana, incidindo sobre a superfície de um bom condutor, a profundidade de penetração da onda é a profundidade na qual a intensidade do campo foi reduzida a $1/e$, ou aproximadamente 37%, de seu valor original.

Radiofrequência (RF). Qualquer frequência na qual a radiação eletromagnética é utilizável em telecomunicações. Nota: nesta publicação, RF refere-se à faixa de 300 Hz a 300 GHz.

Radiação não ionizante (RNI). Inclui todas as radiações do espectro eletromagnético, que normalmente não têm energia suficiente para ionizar a matéria. Caracterizam-se por apresentarem energia, por fóton, inferior a cerca de 12 eV, comprimentos de onda maiores do que 100 nm e frequências inferiores a 3×10^{15} Hz.

Ressonância. A mudança de amplitude que ocorre quando a frequência se aproxima, ou coincide, com uma frequência natural do meio. A absorção de corpo inteiro, da onda eletromagnética, apresenta o seu valor máximo, ou seja, a ressonância, para frequências (em MHz) correspondendo, aproximadamente, a $114/L$, onde L é a altura do indivíduo, em metros.

Taxa de absorção específica (SAR). A taxa de absorção de energia por tecidos do corpo, em watt por quilograma ($W.kg^{-1}$). A SAR é a medida dosimétrica que tem sido amplamente adotada em frequências superiores a cerca de 100 kHz.

Valor eficaz. Certos efeitos são proporcionais à raiz quadrada da média do quadrado da função (ao longo de um período). Este valor, conhecido como valor eficaz (ou rms), é calculado tomando-se inicialmente o quadrado da função, calculando-se o valor médio dos quadrados assim obtidos e extraindo-se a raiz quadrada desse valor médio.



Conselho Diretor

Renato Navarro Guerreiro (Presidente)
Luiz Francisco Tenório Perrone
José Leite Pereira Filho
Luiz Tito Cerasoli
Antônio Carlos Valente da Silva

Chefe de Gabinete

Meri Olivio Chiodelli

Superintendente Executivo

Luiz Otávio Calvo Marcondes

Superintendente de Serviços Públicos

Edmundo Antônio Matarazzo

Superintendente de Serviços Privados

Santos José Gouvêa

Superintendente de Serviços de Comunicação de Massa

Jarbas José Valente

Superintendente de Radiofrequência e Fiscalização

Amadeu de Paula Castro Neto

Superintendente de Administração Geral

Edmur Carlos Jorge de Moraes

Procurador

Antônio Domingos Teixeira Bedran

Corregedor

Maury Caetano de Oliveira

Chefe da Assessoria Internacional

Clóvis José Baptista Neto

Chefe da Assessoria de Relações com os Usuários

Eduardo de Faria Pereira

Chefe da Assessoria Técnica

João Carlos Fagundes Albernaz

Chefe da Assessoria Parlamentar e de Comunicação Social

Jorge Rosa



Produzido pela Gerência de Engenharia do Espectro da
Superintendência de Radiofrequência e Fiscalização
dezembro de 1999