



Ciência & Saúde Coletiva

ISSN: 1413-8123

[cecilia@claves.fiocruz.br](mailto:cecilia@claves.fiocruz.br)

Associação Brasileira de Pós-Graduação em  
Saúde Coletiva  
Brasil

Souto Ferreira Anselmo, Caroline Wanderley; Martins Bion, Francisca; Jansem de Almeida Catanho,  
Maria Teresa; Medeiros, Maria do Carmo

Possíveis efeitos adversos dos campos eletromagnéticos (50/60 Hz) em humanos e em animais

Ciência & Saúde Coletiva, vol. 10, núm. Sup, setembro-dezembro, 2005, pp. 71-82

Associação Brasileira de Pós-Graduação em Saúde Coletiva

Rio de Janeiro, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63009910>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Possíveis efeitos adversos dos campos eletromagnéticos (50/60 Hz) em humanos e em animais

Potential adverse effects of electromagnetic fields (50/60 Hz) on humans and animals

Caroline Wanderley Souto Ferreira Anselmo <sup>1</sup>

Francisca Martins Bion <sup>1</sup>

Maria Teresa Jansem de Almeida Catanho <sup>2</sup>

Maria do Carmo Medeiros <sup>1</sup>

**Abstract** *The technologic development has increased the number of electric and electronic devices for household and work environment applications. In this way, we have to cope with a diverse quantity of electromagnetic irradiation sources, with different power and frequency ranges. For many years, some scientists and engineers believed that low-frequencies electromagnetic field (EMF) could not cause any bad effect or substantial alterations on the biologic livings. This work has the objective to perform a literature review of the possible effects of EMF in human beings and animals, that was published in the past years on Medline, international, and national journals about the EMF (50/60Hz). The results showed that extremely low EMF might produce adverse effects, i.e. cancer, reproduction disruption, degenerative illnesses, citogenetic alterations, and cardiovascular, neurologic and neuroendocrine system alterations in humans and animals. The biologic and biochemical parameters suffered interference as well. Despite all these findings, we can find some disagreements among the authors. Hence it is necessary to extend the research about this issue.*

**Key words** *Electromagnetic fields, 50/60 Hz, Adverse effects*

**Resumo** *Os avanços tecnológicos têm aumentado o número de equipamentos elétricos e eletrônicos, seja nas residências ou mesmo no ambiente de trabalho, fazendo com que a população conviva com grande número de fontes de irradiação eletromagnética, com os mais diversos níveis de potência e frequência. Por muitos anos, alguns cientistas e engenheiros acreditaram que o campo eletromagnético (CEM) com frequência extremamente baixa não pudesse causar efeitos e alterações significantes no material biológico. O objetivo deste trabalho é verificar os possíveis efeitos adversos dos CEMs em humanos e animais, que foram publicados nos últimos anos, através de uma revisão da literatura disponível em Medline, revistas nacionais e internacionais e catálogos de obras de referência na área dos CEM (50/60 Hz). Como resultado foi observado que o CEM (50/60 Hz) é capaz de produzir diversos efeitos adversos em humanos e animais, como por exemplo: distúrbios na reprodução, doenças degenerativas, efeitos psiquiátricos e psicológicos, alterações citogenéticas, alterações no sistema cardiovascular, nervoso e neuroendócrino, bem como nos parâmetros biológicos e bioquímicos. Apesar de todas estas constatações e devido a muitas controvérsias entre vários autores, faz-se necessário um estudo mais específico e aprofundado sobre o assunto.*

**Palavras-chave** *Campo eletromagnético, 50/60 Hz, Efeitos adversos*

<sup>1</sup> Departamento de Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Professor Moraes Rego 1.235, Cidade Universitária, 50670-901, Recife PE.

cwsfa@hotmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Biofísica, Universidade Federal de Pernambuco.

## Introdução

Os avanços tecnológicos têm aumentado o número de equipamentos elétricos e eletrônicos, seja nas residências ou mesmo no ambiente de trabalho, fazendo com que a população conviva com um grande número de fontes de irradiação eletromagnética, com os mais diversos níveis de potência e frequência. A exposição humana a radiações do campo eletromagnético (CEM) ocorre por toda a parte, resultante da proximidade de linhas de força de alta voltagem e estações de força de transmissão, do uso de eletrodomésticos e equipamentos como microondas, monitores de vídeo e telefones celulares. Consequentemente, há interesse em determinar se há riscos aos indivíduos expostos de forma constante aos CEM (Estácio & Silva, 2002).

Por muitos anos, alguns cientistas e engenheiros acreditaram que o campo eletromagnético (CEM) de baixa frequência não pudesse causar efeitos e alterações significantes no material biológico. Esse raciocínio esteve fundamentado no fato de o CEM não provocar quebras em ligações moleculares do material genético e de apenas gerar uma quantidade de calor insuficiente para elevar a temperatura do tecido corporal. Contudo constatou-se que esses argumentos são incorretos, pois há outras formas de os campos interagirem com células individuais para gerar tais alterações (Lechter, 1991). Becker (1972) foi um dos primeiros pesquisadores a sugerir que o CEM no meio ambiente era o responsável por algumas doenças, pelo fato de o CEM produzir correntes internas no organismo que competem com os que são produzidos naturalmente.

Segundo Lai & Singh (1997a), embora os CEM de 60 Hz sejam classificados como não ionizantes, isto é, incapazes de romper, por vibração, as cadeias de DNA, alguns estudos demonstram que o Efeito Joule, desenvolvido no organismo irradiado, é capaz de provocar uma ruptura semelhante. Seguindo a tendência dos estudos em laboratório, devemos esperar que o CEM esteja relacionado com diversos tipos de doença e não apenas com o câncer. Os estudos mostram que o CEM é um estressor biológico e que a população sendo cronicamente estressada tem uma probabilidade maior de desenvolver doenças (Marino & Morris, 1999).

Muitos foram os estudos conduzidos no sentido de se estabelecer uma correlação entre os campos eletromagnéticos variáveis de baixa frequência e o aparecimento de diversas formas

de câncer, tais como a leucemia infantil, tumores cerebrais, câncer pulmonar, câncer de mama, linfomas, etc. (Loomis *et al.*, 1994; Balcer & Elizabeth, 1995).

Alguns estudos em trabalhadores envolvidos na fabricação de ímã indicaram vários sintomas subjetivos e distúrbios funcionais incluindo irritabilidade, fadiga, dor de cabeça, perda de apetite, bradicardia, taquicardia, queda da pressão sanguínea, alteração no eletroencefalograma, coceira, queimação e dormência (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 1994).

Estudos similares têm sido publicados sobre o risco de efeitos adversos na reprodução humana, associados com a exposição ao CEM (Brent *et al.*, 1993; Shaw & Croen, 1993; Tenforde, 1996; Creasey, 2000). Segundo Juutilainen *et al.* (1993), a exposição a campos eletromagnéticos pode causar aborto. A verdade é que se não foi possível com provar essa correlação, também não é conclusivo o fato de que as ondas eletromagnéticas são inofensivas quando incidem, com uma certa potência e frequência, sobre organismos vivos (Goldberg, 2000).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo verificar os possíveis efeitos adversos do CEM em humanos e animais, que foram publicados nos últimos quarenta anos, através de uma revisão da literatura disponível em Medline, revistas nacionais e internacionais e catálogos de obras de referência na área dos CEM (50/60 Hz).

## Câncer em humanos

Zaret (1977) observou uma possível associação entre câncer e homens submetidos ao CEM em seus ambientes de trabalho. Neste mesmo ano, Becker (1977) analisou o número de ocorrência de câncer, entre aproximadamente 1.100 residentes de uma área rural no norte de Syracuse, Nova York. Esta área era cruzada por linhas de alta tensão e continha 20 antenas. A incidência de câncer nesta área entre 1974 e 1977 foi quase o dobro da esperada no Estado como um todo. Em 1979, Wertheimer & Leeper apresentaram um estudo indicando que os ambientes expostos aos campos eletromagnéticos de 50 e 60 Hz podem aumentar o risco de doenças crônicas – mortalidade por câncer em crianças. Três anos depois, este estudo foi seguido pelo trabalho de Milham (1982), que mostrou uma relação entre leucemia e trabalho em ambien-

tes expostos ao CEM, ao utilizar uma base de dados fundamentada em certificados de óbito, que incluía tipos de emprego e informações sobre a mortalidade por câncer, em Washington. Outros estudos similares foram feitos por Wright *et al.* (1985) em Los Angeles e por Coleman *et al.* (1983) na Inglaterra, onde os resultados obtidos corroboraram com os resultados de Milham.

McDowall (1983) publicou um estudo epidemiológico no qual ele observou que entre todas as mortes que ocorreram em 1973 na Inglaterra e no País de Gales, 537 apresentavam como causa a leucemia. A partir desse achado, ele observou que havia um risco relativo maior de desenvolver leucemia entre os trabalhadores submetidos ao CEM em seus ambientes de trabalho. Em estudo similar, Pearce *et al.* (1985) também reportaram que eletricitistas na Nova Zelândia tinham um risco maior de sofrer de leucemia. Li *et al.* (1997) informaram haver um aumento de casos de leucemia em adultos morando a menos de 50 metros de uma linha de força de alta tensão.

Lin *et al.* (1985) estudaram a relação entre ocupação e mortalidade por tumor de cérebro, que ocorreu entre homens brancos residentes em Maryland entre 1969-1982. Análises preliminares mostraram mais mortes entre trabalhadores expostos ao CEM (eletricistas, engenheiros elétricos) do que o esperado. Foi observado um número significativamente diferente entre o número de indivíduos portadores de glioma e astrocitoma entre os indivíduos expostos quando comparados com o grupo de controle. Segundo Swerdlow (1983), em um estudo epidemiológico entre 1962 e 1977, no qual observou uma alta taxa de câncer de olho entre homens que trabalhavam na indústria elétrica e eletrônica na Inglaterra e País de Gales, os valores encontrados para este grupo foram bem mais altos que os valores encontrados entre os trabalhadores em geral para este tipo de doença.

Vagero & Olin (1983) estudaram os casos de câncer reportados na Suécia, no período de 1961-1973. Eles observaram uma maior quantidade de casos de câncer entre homens e mulheres, com idade entre 15 e 64 anos, no grupo formado por trabalhadores da indústria eletrônica. Observaram também um aumento na incidência de câncer de 15% entre homens e de 8% entre as mulheres que trabalhavam na indústria eletrônica quando comparados com o restantes trabalhadores. Trabalhadores de li-

nha de alta tensão no Canadá exibiram uma taxa três vezes maior na quantidade de câncer de intestino quando comparados com os outros trabalhadores (Howe & Lindsay, 1983). Em estudos posteriores, Savitz & Ahlbom (1994), que utilizaram bases de dados semelhantes, observaram que 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, Breysse & Elliott, 1991; Tynes *et al.*, 1992). Estudos epidemiológicos sugerem que humanos que vivem expostos ao CEM do meio ambiente podem ter um risco maior de desenvolver doenças, incluindo o câncer de mama (Loomis *et al.*, 1994).

Segundo Stevens *et al.* (1992), as nações industrializadas apresentam um alto índice de câncer de mama entre as mulheres. Savitz *et al.* (1990), em um estudo realizado em Denver, relataram uma ligação entre o uso pré-natal de cobertores elétricos e a leucemia na infância. Um outro estudo feito em Los Angeles constatou uma associação entre leucemia e crianças que usavam secadores de cabelo e assistiam televisão em receptores monocromáticos (London *et al.*, 1991). Lin *et al.* (1997) fizeram 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. Eles observaram uma associação positiva, entre os campos magnéticos e o risco de leucemia. Segundo Kheifets *et al.* (1995) e Loomis *et al.* (1998), existe uma associação positiva entre o risco de câncer de cérebro e a exposição ocupacional ao CEM. Conclusões similares têm sido reportadas quanto ao desenvolvimento de câncer em adultos, particularmente quanto ao aumento da incidência de tumor no cérebro e leucemia em trabalhadores da rede elétrica na Grã-Bretanha (National Radiobiological Protection Board, 1992), Estados Unidos (Robinson *et al.*, 1997) e na Suécia (Floderus *et al.*, 1994). Feychting & Ahlbom (1994), fizeram um estudo epidemiológico, na Suécia, entre adultos, que viviam perto de linhas de alta tensão e observaram um aumento de leucemia e tumores no sistema nervoso central. Feychting *et al.* (1998), em outro estudo epidemiológico ainda na Suécia, obser-

varam uma relação entre exposição ao CEM de jovens mulheres, até 50 anos, que viviam perto de linhas de alta tensão e o diagnóstico de câncer de mama.

Juutilainen *et al.* (2000), utilizando mulheres expostas ao CEM no ambiente de trabalho, propuseram a hipótese de que a exposição ao CEM pode potencializar os efeitos de agentes carcinogênicos conhecidos, mas apenas quando ambas as exposições são crônicas. Há indicações de que o CEM pode influenciar a ação de enzimas, o sinal de transdução, a expressão gênica e a síntese de proteínas, que exercem atividades importantes na regulação da proliferação celular e nos processos envolvidos na promoção tumoral (Troško, 2000).

Villeneuve *et al.* (2000a) fizeram um estudo epidemiológico entre 31.453 trabalhadores da indústria elétrica e observaram que os CEM atuam como um agente promotor na etiologia da leucemia em adultos. Villeneuve *et al.* (2000b), após um estudo epidemiológico em Ontário, com trabalhadores do sexo masculino, da indústria elétrica, suportaram a hipótese de que o CEM pode ser um agente promotor na etiologia do linfoma “non-Hodgkin’s”.

Tynes *et al.* (2003) suportaram a ideia de que havia uma relação entre o surgimento do melanoma e a exposição ao CEM, após realizarem um estudo epidemiológico na Noruega, utilizando adultos com idade a partir dos dezesseis anos.

### Câncer em animais

Holmberg (1995) fez uma revisão dos trabalhos publicados que usaram CEM com intensidade entre 0.5  $\mu$ T e 30 mT em ratos e chegou à conclusão de que o CEM não é iniciador do desenvolvimento tumoral, mas pode ser o promotor do processo já iniciado. Esta hipótese é apoiada por estudos mostrando que a exposição ao CEM acelera a formação de tumores em animais expostos a carcinogênicos. Os dados apresentados pela revisão de Löescher & Liburdy (1998) mostram indicações, a partir de estudos em animais, que a exposição ao CEM de 50-60 Hz exerce efeito co-promotor ou promotor de câncer em células já iniciadas no processo cancerígeno.

### Reprodução em humanos

Lindholm *et al.* (1992) observaram mulheres grávidas submetidas ao CEM emitido por monitores de vídeo e constataram um maior índice de aborto entre elas. Segundo Juutilainen *et al.* (1993), mulheres grávidas submetidas ao CEM no ambiente em que vivem estão mais propensas a sofrer aborto. De acordo com Chiang *et al.* (1995), efeitos adversos sobre a reprodução, quanto à ocorrência de perdas gestacionais, também têm sido questionados como consequência do CEM.

### Reprodução em animais

Segundo Cecconi *et al.* (2000), o CEM de 50 Hz pode prejudicar o potencial reprodutivo de fêmeas mamíferas pela redução da capacidade dos folículos de atingirem o estágio de desenvolvimento essencial para o sucesso da reprodução. Eles chegaram a essa conclusão expondo células foliculares *in vitro* ao CEM de 50 Hz, 1.5 mT, por um período de cinco dias. Al-Akhras *et al.* (2001) submeteram ratos Sprague-Dawley adultos, machos e fêmeas, ao CEM de 50 Hz, 50  $\mu$ T, por noventa dias antes de acasalar. Os ratos apresentaram redução na fertilidade e o número de ratas prenhas foi menor entre as ratas que foram acasaladas com ratos expostos ao CEM, e o número de reabsorção fetal foi maior nas ratas. Lee *et al.* (2004) observaram os efeitos do CEM de 60 Hz, 0.1 mT ou 0.5 mT, por 24 horas, durante oito semanas, nas células germinativas dos testículos em ratos machos adultos. Como resultado, eles observaram que o CEM pode induzir a morte de células germinativas em ratos.

### Doenças neurodegenerativas em humanos

De acordo com Poole *et al.* (1993) e Repacholi (1998), a exposição ao CEM pode gerar disfunções do sistema nervoso central (SNC), induzindo ao nervosismo, à ansiedade, ao estresse, a distúrbios do sono e outros.

Segundo Savitz *et al.* (1998), há indicações de que a exposição ocupacional aos campos magnético e elétrico pode estar associada a um risco aumentado para o aparecimento de doenças neurodegenerativas como Alzheimer, Parkinson e esclerose amiotrófica lateral. Sobel &

Davanipour (1996) também sugeriram que haveria uma associação entre doença de Alzheimer e exposição ocupacional a campos magnéticos.

Segundo os dados obtidos por Ahlbom (2001) em uma meta-análise, utilizando o material apresentado no Simpósio sobre CEM que foi organizado pelo US National Institute of Environmental Health Sciences, em 1998, verificou-se que existe uma forte evidência de aumento do risco de esclerose lateral amiotrófica em pessoas que trabalham com eletricidade. No entanto, a exposição ao CEM é uma entre várias causas possíveis. Ahlbom (2001) suporta a hipótese de que um trabalhador exposto ao CEM, em sua profissão, está muito mais susceptível a desenvolver esclerose lateral amiotrófica do que Alzheimer.

### Efeitos psiquiátricos e psicológicos em humanos

Pesquisadores da antiga União Soviética, no final da década de 1960 e início da década de 1970, afirmaram a possibilidade de efeitos psiquiátricos e psicológicos relacionados à exposição ao CEM, baseados em sintomas como insônia, perda de memória e dor de cabeça (Asanova & Rakov, 1972). No final da década de 1970, Reichmanis *et al.* (1979) publicaram um trabalho indicando que havia uma relação entre a exposição ao CEM e suicídio. Baris *et al.* (1996) afirmaram existir evidências de uma associação entre suicídio e exposição cumulativa ao CEM. Wilson (1988) sugere que o transtorno causado pela exposição ao CEM ao ritmo circadiano da melatonina poderia estar relacionado com a depressão.

Massot *et al.* (2000) em seus experimentos *in vitro* observaram que o CEM de 50 Hz, 2  $\mu$ T e 2 mT especificamente interage com os receptores 5-HT<sub>1B</sub>, induzindo mudanças estruturais da proteína e resultando em uma diminuição da sensibilidade funcional dos receptores. Por isso, *in vivo*, a exposição ao CEM pode levar a mudanças fisiológicas, particularmente no campo das alterações do humor, no qual o sistema 5-HT é fortemente envolvido.

### Citogenética em humanos

Alguns estudos citogenéticos realizados *in vitro* não demonstraram aumento das frequências de aberrações cromossômicas em células ex-

postas ao CEM (Scarfi *et al.*, 1994), enquanto outros observaram diferenças significantes nas frequências de aberrações cromossômicas em consequência da ação do CEM em situações específicas (Khalil & Qassem, 1991). Esses autores relataram ocorrência aumentada de aberrações cromossômicas em células cultivadas expostas ao CEM, de 50 Hz, 1.05 mT, 72 h, sendo atribuída uma correlação entre a frequência de alterações e o tempo de exposição.

Nordenson *et al.* (1994), usando células amnióticas de humanos, publicou que exposição contínua ou intermitente ao CEM de intensidade 0.03 mT e com frequência de 50 Hz levava a um aumento duas ou três vezes maior de aberrações cromossômicas. No entanto, quando a intensidade era aumentada para 0.3 mT nenhum efeito era observado (Nordenson *et al.*, 1994).

Ahuja *et al.* (1999), após expor amostras de sangue ao CEM de 50 Hz, divididas em cinco grupos de intensidades diferentes (2, 3, 5, 7 e 10 mT), evidenciou que o CEM de 50 Hz pode ter efeito genotóxico em linfócitos humanos, principalmente de mulheres. Liburdy & Löschner *apud* Repacholi & Greenebaum (1999), em um estudo *in vitro*, afirmaram que a proliferação celular era aumentada em uma variedade de tipos celulares quando expostas ao CEM de intensidade acima que 1 mT. Valjus *et al.* (1993) analisaram linfócitos periféricos cultivados por 48 h em trabalhadores de linhas de força, considerados um grupo com exposição elevada ao CEM de 50 Hz, e em trabalhadores de linhas telefônicas (grupo de controle). Esses autores relataram uma taxa aumentada, em relação aos controles, de células com quebras cromatídicas entre trabalhadores de linhas de força. Estécio & Silva (2002) também utilizaram culturas de 48 h de linfócitos de sangue venoso periférico e observaram que as quebras cromatídicas também foram o tipo de alteração mais frequente em conrado nos indivíduos expostos ao CEM emitido pelos monitores de vídeo dos computadores. Contudo, as características do CEM produzido pelos monitores de vídeo dos computadores são diferentes daquelas dos demais experimentos. Contrariando estes resultados, Fairbairn & O'Neill (1994) não detectaram quebras na cadeia simples do DNA em estudos moleculares realizados com células humanas cultivadas expostas ao CEM. Khalil & Qassem (1991) expuseram linfócitos humanos ao CEM de 50 Hz, 1.05 mT, com tempos de exposição diferentes, sendo a primeira amostra exposta por 24 h, a segunda

por 48 h e a terceira por 72 h. Após este experimento eles sugeriram uma correlação entre o aumento da frequência de alterações citogenéticas e o tempo de exposição ao CEM (Khalil & Qassem, 1991).

Segundo Estécio & Silva (2002), também foi verificada relação entre aumento da idade e capacidade diminuída das células em reparar o DNA danificado, sendo o reparo do DNA mais eficiente em indivíduos mais jovens. Independentemente do mecanismo de ação, o CEM gera instabilidade cromossômica. Indivíduos com essa instabilidade podem gerar células com uma frequência maior de mutações ou aberrações cromossômicas do que aqueles com genoma estável, o que aumenta o risco de desenvolvimento de câncer (HSU *et al.*, 1986). De acordo com Estécio & Silva (2002), sob condições semelhantes de exposição ambiental, um indivíduo que apresenta mecanismo de reparo de DNA ineficiente provavelmente acumula mais mutações e aberrações cromossômicas do que um com sistema de reparo de DNA normal. Assim, a ocorrência aumentada de certos tipos de cânceres entre indivíduos expostos ao CEM, encontrada em diversos estudos epidemiológicos, poderia estar relacionada a uma instabilidade cromossômica.

Os resultados conflitantes obtidos pelos diferentes estudos, quanto à ação do CEM sobre o material genético, devem decorrer da utilização de diferentes metodologias, tipos celulares, dose e período de exposição ao CEM. Porém, permanece ainda uma forte sugestão do efeito deletério do CEM sobre os sistemas biológicos (Estécio & Silva, 2002).

### Citogenética em animais

Lai & Singh (1997b) observaram um aumento nas quebras das cadeias simples de DNA em células do cérebro de ratos expostos ao CEM de 60 Hz, 0.1, 0.25 e 0.5 mT. Lai & Singh (2004) repetiram o experimento anterior, utilizando uma intensidade de 0.01 mT por 24 h e 48 h e observaram quebras nas cadeias simples e duplas do DNA e este efeito foi maior nas células expostas por 48 h, mostrando um efeito cumulativo. Robison *et al.* (2002) demonstraram que células expostas ao CEM de 60 Hz, 0.15 mT apresentaram uma diminuição na taxa de reparo nas linhas celulares HL-60 e HL-60R.

Heredia-Rojas *et al.* (2004) estudaram o efeito do CM de 60 Hz, 2.0 mT, em células ger-

minativas de ratos. Eles observaram um efeito oposto em termos de aberrações cromossômicas e morfologia do espermatozóide, quando compararam o grupo exposto ao CM com o grupo tratado com mitomicina C.

### Sistema cardiovascular em humanos

De acordo com Cook *et al.* (1991), foram observadas mudanças na frequência cardíaca (diminuição) em homens saudáveis expostos, quando voluntários, aos campos eletromagnéticos de 20  $\mu$ T e 60 Hz. Os efeitos eram maiores logo depois que o campo era ligado ou desligado. Estudos recentes em humanos têm revelado variações temporárias e reversíveis na frequência cardíaca em humanos expostos a CEM de 20  $\mu$ T (Sastre *et al.*, 1998). Pelo menos um estudo epidemiológico fala de uma associação entre exposição ocupacional aos campos eletromagnéticos e morte devido a arritmias ou infarto agudo do miocárdio, apesar da ausência de doença cardíaca crônica (Savitz *et al.*, 1999).

### Sistema cardiovascular em animais

Jeong *et al.* (2005) observaram que a exposição de ratos ao CEM de 60 Hz, 20 gauss, durante um dia, pode suprimir o aumento da frequência cardíaca afetando a repolarização ventricular e pode ter um efeito inferior na resposta do sistema cardiovascular induzido pelo agonista simpático.

### Sistema nervoso em animais

O CEM de 50 Hz causou uma variedade de mudanças na estrutura neuronal nos cérebros de coelhos expostos, induzindo alterações do retículo endoplasmático das células de Purkinje, e a formação de numerosos corpos lamelares (Hansson, 1981). Jeong *et al.* (2000) observaram que ratos expostos ao CEM de 60 Hz, 20 gauss, durante 24 h, sofreram uma inibição no aumento do limiar de dor durante a noite e uma hiperalgesia durante o dia, com o envolvimento de opióides e do sistema benzodiazepínico. Choi *et al.* (2003) estudaram o efeito do CEM de 60 Hz, 1.5 mT, no limiar de dor em ratos, sendo um grupo exposto ao CEM das 8 às 20 h e o outro das 20 às 8 h, durante cinco dias. Com este estudo eles sugeriram que o CEM

pode alterar o limiar de dor diurno, atuando no sistema, que é associado com o ciclo noturno do meio ambiente.

### Parâmetros hematológicos e bioquímicos em animais

Bonhomme-Faivre *et al.* (1998), em um estudo experimental, mensuraram mudanças nos parâmetros biológicos, bioquímicos e de cortisol em camundongos *swiss* com seis semanas de idade. Os ratos foram expostos continuamente ao CEM gerado por transformadores. A média diária de exposição de 50  $\mu$ T foi mantida por 350 dias. Os parâmetros hematológicos foram comparados com os dos ratos de controle expostos a um CEM ambiente baixo de 0,1  $\mu$ T. Os parâmetros bioquímicos analisados no soro (sódio, potássio, cloro, cálcio, magnésio, fósforo, amilase, creatinina fosfoquinase e lactato desidrogenase) foram quantificados depois de 28 dias de exposição e o cortisol depois de 90 e 190 dias. Vinte dias após o início da exposição, os ratos expostos mostraram uma diminuição significativa no número de leucócitos, eritrócitos, linfócitos e monócitos, bem como um aumento significativo nos valores da hemoglobina e do hematócrito, e o volume corpuscular médio aumentou. Noventa dias após, uma queda significativa foi observada na quantidade de leucócitos, neutrófilos polinucleares e eosinófilos nos animais expostos. Após 190 dias, os animais expostos sofreram neutropenia e uma diminuição nos valores de cortisol (Bonhomme-Faivre, 1998).

### Sistema neuroendócrino em humanos

A teoria neuroendócrina para explicar os efeitos biológicos do CEM induzido foi formulada por Marino (1993), em que ele fala que o CEM é detectado pelas células do sistema nervoso e a informação é transmitida para o hipotálamo, que é responsável por liberar respostas hormonais e elétricas para se opor aos efeitos do CEM nas interações elétricas que mediam processos vitais como a transcrição, tradução e as interações com os anticorpos. A magnitude e direção de cada parâmetro mensurável que constitui a resposta em cascata são influenciadas por fatores internos do organismo e pelos fatores ambientais (Marino, 1993).

Apesar de mudanças neuroendócrinas estarem relacionadas à exposição ao CEM, não exis-

tem conhecimentos das consequências dessas mudanças para a saúde (Repacholi & Greenbaum, 1999). Segundo Stevens (1987), a supressão da melatonina como resultado da exposição ao CEM tem levantado a hipótese de que esta exposição pode levar ao câncer de mama. De acordo com Wilson *et al.* (1989), outras desordens podem ocorrer no ser humano, através de um ou mais mecanismos, envolvendo os hormônios da glândula pineal (Wilson *et al.*, 1989).

McLauchlan (1992), Scaiano *et al.* (1994) e outros têm proposto que 50/60 Hz CM aumenta o tempo de vida dos radicais livres no organismo. No entanto Valberg *et al.* (1997) afirmaram que os efeitos biológicos do CEM reportados na literatura não são os principais fatores para explicar o mecanismo de ação dos radicais livres no organismo. Segundo Méndez *et al.* (1992), ao comparar trabalhadores expostos ao CEM por dez anos com trabalhadores não expostos, os trabalhadores expostos apresentaram alterações no sistema imune que foram observadas pela dosagem de IgG e IgA. A imunidade se encontrou diminuída tanto na roseta ativa quanto na roseta espontânea.

Simkó & Mattsson (2004), baseados numa extensa revisão da literatura, sugeriram que a exposição ao CEM é capaz de causar efeitos adversos ao organismo devido ao aumento dos níveis de radicais livres no próprio organismo.

### Sistema neuroendócrino em animais

Vários laboratórios de pesquisa têm reportado supressão da liberação de melatonina e da glândula pineal em ratos e *hamsters* expostos ao CEM (Wilson *et al.*, 1981; Welker *et al.*, 1983; Lerchl *et al.*, 1990; Kato *et al.*, 1991; Löescher *et al.*, 1993; Yellon, 1994; Stevens, 1995). Segundo Kato (1994), a exposição de ratos ao CEM (0,02 e 1,0  $\mu$ T) por 42 dias levou a uma diminuição nos níveis de melatonina diurnos e noturnos. Similarmente, exposição de ratos albinos ao CEM de 50Hz com intensidade de 0,1 mT diminuiu os níveis de melatonina noturna que por sua vez limitou a taxa enzimática, N-acetiltransferase, na glândula pineal (Selmaoui & Touitou, 1995).

Experimentos baseados na hipótese de que o câncer de mama e outras desordens no ser humano estariam relacionados com um ou mais mecanismos envolvendo os hormônios da glândula pineal têm indicado que a exposição ao campo magnético (CM) pode aumentar o



risco de câncer de mama em ratos tratados com dimetilbenzantraceno (Löescher *et al.*, 1994). Rosen *et al.* (1998) mostram que um CEM de 50  $\mu$ T e 60 Hz, em dez experimentos, causou em média uma redução de 46% na produção de melatonina pelas células pineais em animais de laboratório.

Wilson *et al.* (1999) expuseram mamíferos sensíveis ao tempo de exposição à luz, *Phodopus sungorus*, ao CEM de 60 Hz (0.1 mT), dividindo-os em dois grupos: um exposto a um pequeno período de luz (8:16) e o outro exposto a um período maior de luz (16:8). Foi observada uma alteração na função da glândula pineal e do eixo hipotálamo-pituitária-gonadal. Estas alterações podem ser determinadas pela supressão da melatonina pineal e o aumento das concentrações de norepinefrina. Animais expostos por 16 dias ao CEM aumentou o nível da prolactina circulante. Animais expostos diariamente por 30 a 42 dias ou mais obtiveram uma redução no peso das gônadas e retardou no crescimento.

Ratos Sprague-Dawley foram expostos continuamente aos campos eletromagnéticos, 60 Hz, por 30 dias, e mostraram menor nível médio de corticóides no soro e aumento da pituitária (Marino *et al.*, 1977). A exposição de macacos ao CEM produziu um aumento nos níveis de corticóides na urina por mais ou menos seis dias, depois os níveis de corticóide retornaram ao nível normal apesar de continuarem expostos ao CEM (Friedman & Carey, 1972).

Segundo Lucena *et al.* (2002), ratos Wistar, com sessenta dias de vida, que foram submetidos ao CEM de 60 Hz, intensidade de 3  $\mu$ T, durante duas horas por dia, apresentaram um aumento nas dosagens de ACTH, cortisol e glicose circulantes, quando comparados com o grupo de controle, indicando que os mesmos foram estressados pela exposição ao CEM.

De acordo com Harakawa *et al.* (2004), ratas ovariectomizadas, expostas ao CEM de 60 Hz por 60 minutos, apresentaram um aumento estatisticamente significante nos níveis de ACTH, glicose, lactato e piruvato plasmático, demonstrando que o CEM altera a resposta ao estresse e o metabolismo energético em ratas estressadas.

Rodriguez *et al.* (2002) estudaram o efeito do CEM de 60 Hz, 30  $\mu$ T, em vacas prenhas, submetidas a dias mais curtos (8 h claro/16 h escuro). Eles observaram que as vacas submetidas ao CEM apresentaram uma produção maior de leite do que as vacas não submetidas ao CEM, na quarta semana do experimento. Rodriguez *et al.* (2004) também estudaram o efeito do

CEM de 30  $\mu$ T, em vacas leiteiras, submetidas a dias curtos (8 h claro/16 h escuro), durante 4 semanas, através das concentrações séricas de melatonina e prolactina. Eles observaram que o CEM pode modificar a resposta das vacas leiteiras a mudanças no tempo de exposição à luz.

## Sistema imunológico

Montenegro *et al.* (2003) observaram através de uma revisão da literatura que os campos eletromagnéticos não ionizantes de baixa frequência interferem na atividade fagocítica, reconhecimento de antígenos e proliferação dos linfócitos no sistema imune, provocando diversas alterações, tanto aumentando ou diminuindo a resposta à indução promovida pelos campos. Ichinose *et al.* (2004) observaram 60 trabalhadores submetidos ao CEM de 60 Hz durante o horário de trabalho e verificaram entre eles uma redução na atividade da ornitina descarboxilase, e alguns marcadores imunológicos eram mais fortes.

## Crescimento e desenvolvimento animal

Sandrey *et al.* (2002) observaram que ratos jovens expostos ao CEM (60 Hz) perderam mais massa que os animais não expostos e que a recuperação foi mais lenta. Grimaldi *et al.* (2004) mostraram que quando populações de girino (*Xenopus laevis*) eram submetidas ao CEM de 50 Hz, 1 mT, 45% dos indivíduos sofriam metamorfose enquanto que no grupo de girinos não expostos este percentual era de 85%.

## Considerações finais

Através desta revisão da literatura foi observado que o CEM de frequência extremamente baixa é capaz de produzir diversos efeitos adversos em seres humanos e animais, como por exemplo: câncer, distúrbios na reprodução, doenças neurológicas, efeitos psiquiátricos e psicológicos, alterações citogenéticas, alterações no sistema cardiovascular, nervoso, neuroendócrino e imunológico, distúrbios no crescimento e desenvolvimento, bem como nos parâmetros hematológicos e bioquímicos. Apesar de todas estas constatações e devido a muitas controvérsias entre vários autores, faz-se necessário um estudo mais específico e aprofundado sobre este assunto.

## Colaboradores

CWSF Anselmo, FM Bion, MTJA Catanho e MC Medeiros participaram igualmente de todas as etapas da elaboração do artigo.

## Referências bibliográficas

- Ahlbom A 2001. Neurodegenerative diseases, suicide and depressive symptoms in relation to EMF. *Bioelectromagnetics Supplement* 5:S132-S143.
- Ahujar YR *et al.* 1999. *In vitro* effects of low level, low frequency electromagnetic fields on DNA damage in human leukocytes by comet assay. *Indian Journal of Biomedicine and Biophysics* 36:318-22.
- Al-Akhras M *et al.* 2001. Effects of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics* 22(5):340-344.
- Asanova TP & Rakov 1972. *The state of health of persons working in the electric field of outdoor 400 kV and 500 kV switchyards*. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronic Engineers Power Engineering Society (10).
- Balcer K & Elizabeth K 1995. Gene expression following 60-Hz magnetic field exposure. *Environmental Health Perspectives*, Boston, MA, 18-22, June.
- Baris D, Armstrong BG, Deadman J & Thériault GA 1996. Mortality study of electrical utility workers in Quebec. *Occupational and Environmental Medicine* 53: 25-31.
- Becker RO 1972. Electromagnetic forces and life process. *Technology Review* (MIT) 75:32-38.
- Becker RO 1977. Microwave radiation, N.Y. State. *Journal of Medicine* 77:217.
- Bonhomme-Faivre L *et al.* 1998. Alterations of biological parameters in mice chronically exposed to low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields. *Life Sciences* 62(14):1271-1280.
- Brent RL, Beckman DA & Landel CP 1993. Clinical teratology. *Current Opinion in Pediatrics* 5:201-211.
- Cecconi S 2000. Evaluation of the effects of extremely low frequency electromagnetic on mammalian follicle development. *Human Reproduction* 15(1):2319-2325.
- Choi YM *et al.* 2003. Extremely low frequency magnetic field exposure modulates the diurnal rhythm of the pain threshold in mice. *Bioelectromagnetics* 24(3): 206-210.
- Chiang H *et al.* 1995. Pulsed magnetic field from video display terminals enhances teratogenic effects of cytosine arabinoside in mice. *Bioelectromagnetics* 16:70-74.
- Coleman MP, Bell CMJ & Skeet R 1983. Leukemia incidence in electrical workers. *Lancet*:246.
- Cook MR, Graham C, Cohen HD & Gerkovich MM 1991. A replication study of human exposure to 60-Hz fields: Effect on neurobehavioral measures. *Bioelectromagnetics* 13:261.
- Creasey WA 2000. Podem a potência e a frequência dos campos eletromagnéticos ser mutagênicas? *EMF Health Report* 8(2), mar/abr.
- Demers PA *et al.* 1991. Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men. *American Journal Epidemiology* 132:775-776.
- Estécio MRH & Silva AE 2002. Alterações cromossômicas causadas pela radiação dos monitores de vídeo de computadores. *Revista de Saúde Pública* 36(3):330-336.
- Fairbairn DW & O'Neill KL 1994. The effect of electromagnetic field exposure on the formation of DNA single strand breaks in human cells. *Cellular & Molecular Biology Letters* 40:561-567.
- Feychting M & Ahlbom A 1994. Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology* 5:501-509.
- Feychting M *et al.* 1998. Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near high-voltage power lines. *Epidemiology* 9:392-397.
- Floderus B, Tornqvist S & Stenlund C 1994. Incidence of selected cancers in Swedish railway workers, 1961-79. *Cancer Causes & Control* 5(2):189-194.
- Friedman H & Carey RJ 1972. Biomagnetic stressor effects in primates. *Physiology & Behavior* 9:171.
- Goldberg RB 2000. Breast cancer risk and EMF exposure. *EMF Health Report* 8(1) Jan/Feb.
- Grimaldi S *et al.* 2004. Influence of 50 Hz electromagnetic field on anuran (*Xenopus laevis*) metamorphosis. *The Scientific World Journal* 4(S2):41-47.
- Hara kawa S, Takahashi I, Doge F & Martin DE 2004. Effect of a 50 Hz electric field on plasma ACTH, glucose, lactate, and pyruvate levels in stressed rats. *Bioelectromagnetics* 25(5): 346-51.
- Hansson H 1981. Lamellar bodies and purkinje nerve cells experimentally induced by electric field. *Brain Research* 216:187-191.
- Heredia-Rojas JA, Caballero-Hernandez DE, Rodriguez-de la Fuente AO, Ramos-Alfano G & Rodriguez Flores LE 2004. Lack of alterations on meiotic chromosomes and morphological characteristics of male germ cells in mice exposed to a 60 Hz and 2.0 mT magnetic field. *Bioelectromagnetics* 25(1):63-68.
- Holmberg B 1995. Magnetic fields and cancer: animal and cellular evidence – an overview. *Environmental Health Perspectives* 103(2):63-67.
- Howe GR & Lindsay JP 1983. A follow-up study of ten-percent sample of the Canadian Labor Force. *Journal of the National Cancer Institute* 70:37-44.

- HSU TC, Ramkissoon D & Furlong C 1986. Differential susceptibility to a mutagen among human individuals: synergistic effect on chromosome damage between bleomycin and aplidicolin. *Anticancer Research* 6:1171-1176.
- Ichinose TY et al. 2004. Immune markers and ornithine decarboxylase among electric utility workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 46(2):104-112.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection 1994. Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields. *Health Physics Society* 66(1):100-106.
- Jeong JH et al. 2000. Effects of extremely low frequency magnetic fields on pain thresholds in mice: roles of melatonin and opioids. *Journal of Autonomic Pharmacology* 20:259-264.
- Jeong JH et al. 2005. Influence of exposure to electromagnetic field on the cardiovascular system. *Autonomic & Autacoid Pharmacology* 25:17-23.
- Juutilainen J, Maitilainen P, Saarikoski S, Laara E & Suonio S 1993. Early pregnancy loss and exposure to 50 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 14:229-236.
- Juutilainen J et al. 2000. Nocturnal 6-hydroxymelatonin sulfate excretion in female workers exposed to magnetic fields. *Journal of Pineal Research* 28:97-104.
- Ka to M, Homma KI, Shigemitsu T & Shiga Y 1991. Effects of exposure to a circularly polarized, 50 Hz magnetic fields on melatonin levels in rats. *Bioelectromagnetics* 14:97-106.
- Kato M, Honma K, Shigemitsu T & Shiga Y 1994. Circularly polarized 50 Hz magnetic field exposure reduces pineal gland melatonin and blood concentrations of Long-Evans rats. *Neuroscience Letters* 166:59-62.
- Khalil AM & Qassem W 1991. Cytogenetics effects of pulsing electromagnetic field on human lymphocytes *in vitro*: chromosome aberrations, sister-chromatid exchanges and cell kinetics. *Mutation Research* 247:141-146.
- Kheifets LI, Afifi A, Buffler P & Zhang Z 1995. Occupational electric and magnetic field exposure and brain cancer: a meta-analysis. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 37:1327-1341.
- Lai H & Singh NP 1997a. Acute exposure to a 60 Hz magnetic field increases DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 18:156-165.
- Lai H & Singh NP 1997b. Melatonin and a spin-trap compound blocked radiofrequency radiation induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 18:446-454.
- Lai H & Singh NP 2004. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environmental Health Perspectives* 112:687-694.
- Lechter GS 1991. A radiação eletromagnética. *PC Mag Bras.* 44-54, dez.
- Lee JS, Ahn SS, Jung KC, Kim YW & Lee SK 2004. Effects of 60 Hz electromagnetic field exposure on testicular germ cell apoptosis in mice. *Asian Journal of Andrology* 6:29-34.
- Lerchl A, Nonaka KO, Stokkan KA & Reiter RJ 1990. Marked rapid alterations in nocturnal pineal serotonin metabolism in mice and rats exposed to weak intermittent magnetic fields. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 169:102-108.
- Li C-Y, Gilles Thériault G & Lin RS 1997. Residential exposure to 60-Hertz magnetic fields and adult cancers in Taiwan. *Epidemiology* 8:25-30.
- Lin RS, Dischinger PC, Condee J & Farrell KP 1985. Occupational exposure to electromagnetic fields and occurrence of brain tumors. *Journal of Occupational Medicine* 27:413-419.
- Linet MS et al. 1997. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *New England Journal of Medicine* 337:1-7.
- Lindholm ML et al. 1992. Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion. *American Journal of Epidemiology* 136:1041-1051.
- Löescher W, Mevissen M, Lehmacher W & Stamm A 1993. Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field. *Cancer Letters* 71:75-81.
- Löescher W, Mevissen M, Lehmacher W & Stamm A 1994. Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats. *Oncology* 51:288-295.
- Löescher W & Liburdy RP 1998. Animal and cellular studies on carcinogenic effects of low frequency (50/60-Hz) magnetic fields. *Mutation Research* 410:185-220.
- London SJ et al. 1991. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *American Journal of Epidemiology* 134:923-937.
- Loomis DP, Savitz DA & Ananth CV 1994. Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States. *Journal of the National Cancer Institution* 86:921-925.
- Loomis D, Kromhout H, Kleckner R & Savitz D 1998. Effects of the analytical treatment of exposure data on association of cancer and occupational magnetic field exposure. *American Journal of Industrial Medicine* 34:49-56.
- Lucena ACT, Anselmo CWSE, Oliveira IM, Filho MB & Catanho MTJA 2002. Effects of 60 Hz Electric Magnetic Field on the Immune System in the Wistar Rats, pp. 837-845. *Biological Effects of EMFs 2<sup>nd</sup> International Workshop*, v.II Rhodes, Greece.
- Marino AA, Berger TJ, Austin BP, Becker RO & Hart FX 1977. *In vivo* bioelectrochemical change associated with exposure to extremely low frequency electric fields. *Physiological Chemistry Physics* 9:433.
- Marino AA 1993. Electromagnetic fields, cancer, and the theory of neuroendocrine-related promotion. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 29:255-276.
- Marino AA & Morris DM 1999. *Chronic electromagnetic stressors in the environment: a risk factor in human cancer*. Shreveport. Disponível em <<http://www.ortho.lsu.edu/faculty?Marino/Papers/Cite67>>. Acesso em 2001.
- Massot O et al. 2000. Magnetic field desensitizes 5-HT<sub>1B</sub> receptor in brain: pharmacological and functional studies. *Brain Research* 858:143-150.
- Matanoski GM, Breyse PN & Elliott EA 1991. Electromagnetic field exposure and male breast cancer. *Lancet* 337:737.
- McDowall ME 1983. Leukemia mortality in electrical workers in England and Wales. *Lancet* (i):246.
- McLauchlan KA 1992. Are environmental magnetic fields dangerous? *Phys. World*, January, 41-45.
- Méndez AC et al. 1992. Efecto de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes sobre la inmunidad humo-

- ral y celular em trabajadores expuestos. *Ver Cub Méd Militar* 21(2):85-92.
- Milham S 1982. Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *New England Journal of Medicine* 307:249.
- Montenegro EJN, Dantas MC, Hirakawa PRTR, Castro RM & Castro CMMB 2003. Efeito dos campos eletromagnéticos não ionizantes no sistema imune. *Anais da Faculdade de Medicina Universidade Federal de Pernambuco* 48(2):148-151.
- National Radiobiological Protection Board 1992. Electromagnetic fields and the risk of cancer: Report of an Advisory Group on Non-ionizing Radiation. Chilton, UK, *Documents* 3(1).
- Nordenson I, Hansson MK, Anderson G & Sandström M 1994. Chromosomal aberrations in human amniotic cells after intermittent exposure to 50 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 15:293-301.
- Pearce NE, Sheppard RA, Howard JK, Fraser J & Lilley BM 1985. Leukemia in electrical workers in New Zealand. *Lancet* i:811.
- Poole C *et al.* 1993. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternative-current transmission line right-of-way. *American Journal of Epidemiology* 137:318-330.
- Reichmanis M, Perry FS, Marino AA & Becker RO 1979. Relation between suicide and the electromagnetic field of overhead power lines. *Physiological Chemistry and Physics* 11:395-403.
- Repacholi MH 1998. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 19:1-19.
- Repacholi MH & Greenbaum B 1999. Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: Health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 20:133-160.
- Robinson CF, Petersen M, Palu S & Sestito JP 1997. Mortality patterns among the international brotherhood of electrical workers, pp. 1982-1987. *Abstract book of Second World Congress of Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*. Bologna, June 8-13.
- Robison JG, Pendleton AR, Monson KO, Murray BK & O'Neill KL 2002. Decreased DNA repair rates and protection from heat induced apoptosis mediated by electromagnetic field exposure. *Bioelectromagnetics* 23(2):106-112.
- Rodriguez M, Petitdier D, Nguyen DH, Block E & Burchard JF 2002. Effect of electric and magnetic fields (60 Hz) on production, and levels of growth hormone and insulin-like growth factor 1, in lactating, pregnant cows subjected to short days. *Journal Dairy Science* 85:2843-2849.
- Rodriguez M, Petitdier D, Burchard JF, Nguyen DH & Block E 2004. Blood melatonin and prolactin concentrations in dairy cows exposed to 60 Hz electric and magnetic fields during 8 h photoperiods. *Bioelectromagnetics* 25(7):508-515.
- Rosen LA, Barber I & Lyle DB 1998. A 0.5 G, 60 Hz magnetic field suppresses melatonin production in pinealocytes. *Bioelectromagnetics* 19:123-127.
- Sandrey MA *et al.* 2002. Effect of short duration electromagnetic field exposure on rat mass. *Bioelectromagnetics* 23(1):2-6.
- Sastre A, Cook MR & Graham C 1998. Nocturnal exposure to intermittent 60-Hz magnetic fields alters human cardiac rhythm. *Bioelectromagnetics* 19:98-106.
- Savitz DA, John EM & Kleckner RC 1990. Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology* 131:763-773.
- Savitz DA & Ahlbom A 1994. Epidemiologic evidence on cancer in relation to residential and occupational exposure, pp. 233-262. In *Biological effects of electric and magnetic fields*, v.2. Academic Press, New York.
- Savitz DA & Loomis DP 1995. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology* 142:123-34.
- Savitz DA, Checkoway H & Loomis DP 1998. Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. *Epidemiology* 9:398-404.
- Savitz DA, Liao D, Sastre A, Kleckner RC & Kavet R 1999. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers. *American Journal of Epidemiology* 149:135-142.
- Scaiano JC, Cozens FL, McLean J & Thansandote A 1994. Application of the radical pair mechanism to free radicals in organized systems: can the effects of 60 Hz magnetic fields be predicted from studies under static fields? *Bioelectromagnetics* 15:549-554.
- Scarfi MR *et al.* 1994. Lack of chromosomal aberration and micronucleus induction in human lymphocytes exposed to pulsed magnetic fields. *Mutation Research* 306:129-133.
- Selmaoui B & Touitou Y 1995. Sinusoidal 50 Hz magnetic fields depress rat pineal NAT activity and serum melatonin. Role of duration and intensity of exposure. *Life Science* 57:1351-1358.
- Shaw GW & Croen LA 1993. Human adverse reproductive outcomes and electromagnetic fields exposures: review of epidemiologic studies. *Environmental Health Perspectives* 101:107-119.
- Simkó M & Mattsson M-O 2004. Extremely low frequency electromagnetic fields as effectors of cellular responses *in vitro*: possible immune cell activation. *Journal of Cellular Biochemistry* 93:83-92.
- Sobel E & Davanipour Z 1996. EMF exposure may cause increased production of a myeloid beta and eventually lead to Alzheimer's disease. *Neurology* 47:1594-1600.
- Stevens RG 1987. Electric power use and breast cancer, a hypothesis. *American Journal of Epidemiology* 125:556-561.
- Stevens RG, Davis S, Thomas DB, Anders on LE & Wilson BW 1992. Electric power, pineal function, and the risk of breast cancer. *FASEB Journal* 6:853-860.
- Stevens RG 1995. Risk of postmenopausal breast cancer and use of electric blankets. *American Journal of Epidemiology* 142:446.
- Swerdlow AJ 1983. Epidemiology of eye cancer in adults in England and Wales 1962-1977. *American Journal of Epidemiology* 118:294-300.
- Tenforde TS 1996. Interaction of ELF magnetic fields with living system, pp. 185-230. In C Polk & E Postow. *Biological effects of electromagnetic fields*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Trosko JE 2000. Human health consequences of environmentally-modulated gene expression: potential roles of ELF-EMF induced epigenetic versus mutagenic mechanisms of disease. *Bioelectromagnetics* 21:402-406.
- Tynes T, Andersen A & Langmark F 1992. Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to

- electromagnetic fields. *American Journal of Epidemiology* 136:81-88.
- Tynes T, Klæboe L & Haldorsen T 2003. Residential and occupational exposure to 50 Hz magnetic fields and malignant melanoma: a population based study. *Occupational & Environmental Medicine* 60:343-347.
- Vagero D & Olin R 1983. Incidence of cancer in the electronics industry: using the New Swedish cancer environment registry as a screening instrument. *British Journal of Industrial Medicine* 40:188-192.
- Valberg PA, Kavet R & Rafferty CN 1997. Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? *Radiation Research* 148:2-21.
- Valjus J et al. 1993. Analysis of chromosomal aberrations, sister chromatid exchanges and micronuclei among power linesmen with long-term exposure to 50 Hz electromagnetic fields. *Radiation and Environmental Biophysics* 32:325-336.
- Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB, Corey PN & Purdum JT 2000a. Leukemia in electric utility workers: the evaluation of alternative indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields. *American Journal of Industrial Medicine* 37(6):607-617.
- Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB & Corey PN 2000b. Non-Hodgkin's lymphoma among electric utility workers in Ontario: the evaluation of alternate indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields. 57: 249-257.
- Welker HA et al. 1983. Effects of an artificial magnetic field on serotonin N-acetyl transferase activity and melatonin content of the rat pineal gland. *Experimental Brain Research* 50:426-432.
- Wertheimer N & Leeper E 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology* 111:345-355.
- Wilson BW, Anderson LE, Hilton DI & Phillips RD 1981. Chronic exposure to 60 Hz electric fields: effects on pineal function in the rat. *Bioelectromagnetics* 2:371-380.
- Wilson BW 1988. Chronic exposure to ELF fields may induce depression. *Bioelectromagnetics* 9:195-205.
- Wilson BW, Stevens RG & Anderson LE 1989. Neuroendocrine mediated effects of electromagnetic-field exposure: possible role of the pineal gland. *Life Science* 45:1319-1332.
- Wilson BW et al. 1999. Effects of 60 Hz magnetic field exposure on the pineal and hypothalamic-pituitary-gonadal axis in the Siberian hamster (*Phodopus sungorus*). *Bioelectromagnetics* 20:224-232.
- Wright WE, Peters J & Mack T 1985. Leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. *Lancet* i:811.
- Yellon SM 1994. Acute 60 Hz magnetic field exposure effects on the melatonin rhythm in the pineal gland and circulation of the adult Djungarian hamster. *Journal of Pineal Research* 16:136-144.
- Zaret MM 1977. Potential hazards of hertzian radiation and tumors. *New York State Journal of Medicine* 77:146.

Artigo apresentado em 4/10/2004

Aprovado em 25/02/2005

Versão final apresentada em 6/04/2005