



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### **Interação do corpo humano com ondas eletromagnéticas produzidas por fonte 50/60Hz.**

<b>Steferson Almeida Aderaldo</b>
-----------------------------------

<b>UFC</b>
------------

steferson@gmail.com
---------------------

**Palavras-chave:** Campos Eletromagnéticos; Interação biológicas.

#### **Resumo**

Os avanços e os desenvolvimentos do sistema de Energia Elétrica no Brasil é uma realidade que não podemos ignorar. No entanto, o progresso tecnológico em seu sentido mais amplo tem sido sempre associado a ameaças e riscos, tanto os percebidos quanto os reais. Os Campos eletromagnéticos (CEM) não são exceções, há preocupação mundial e divergências entre cientistas e especialistas sobre possíveis efeitos dos campos eletromagnéticos de fonte de 50/60Hz sobre a saúde. A preocupação com os efeitos destes campos está relacionado a necessidade de se proteger aspectos de saúde populacional, meio ambiente e urbanísticos, sem inviabilizar o funcionamento do sistema de energia elétrica ou a sua expansão que vem beneficiando camadas diferentes da população ou, ainda, comprometer economicamente as concessionárias e a evolução tecnológica que o setor necessita constantemente.

#### **1 INTRODUÇÃO**

Em paralelo com o vertiginoso crescimento da demanda por energia elétrica por uma parcela substancial da população, tanto em indústrias como em residências e comércios, também tem crescido a intensidade de campos eletromagnéticos (CEM) decorrentes da geração, transmissão, distribuição e uso da energia elétrica, constituindo linhas de força circundando os corpos e dispositivos existentes no ambiente, isto tem aumentado a preocupação da população como um todo (usuários, autoridades governamentais e comunidade científica) em relação aos riscos à saúde que estes campos podem representar principalmente de linhas de transmissão.

Esta preocupação é motivada essencialmente pelas incertezas científicas, especialmente em relação aos “efeitos não térmicos” da absorção da energia eletromagnética nos seres humanos, uma vez que os “efeitos térmicos” já são há muitos anos bem conhecidos, e são os considerados nas normas mais difundidas que limitam a exposição aos campos eletromagnéticos não-ionizantes.

Tal preocupação vem incentivando discussões sobre o tema, criando de forma proporcional Leis municipais, estaduais e federais, sanções administrativas e até mesmo ações movidas pelo Ministério Público.

A emissões eletromagnéticas pelas estruturas do Sistema Elétrico de Potência (SEP) são resultantes de uma atividade que por não provocar despejo de poluição ao ambiente diretamente, ou, sem uma aparente atuação sobre os atores envolvidos, deve ser tratada de forma peculiar face a dificuldade de compreensão da abrangência do possível impacto.

Para que esta briga não implique na inviabilização da prestação do serviço devemos ampliar e socializar o conhecimento sobre seus efeitos e garantir seu desenvolvimento de forma sustentável.

Diante desses fatos este estudo é constituído de uma análise de dados de pesquisas bibliográficas levando em conta as diretrizes de proteção das radiações eletromagnéticas adotadas por organizações mundiais, considerando os limites de segurança preestabelecidos quanto à exposição humana às radiações não ionizantes. Futuramente o estudo será complementado medidas de campos eletromagnéticos em Subestações e Linhas de transmissão de 69kV, além de simulações das radiações dessas estruturas a partir de suas características, para se determinar o Campo elétrico, Campo Magnético, distâncias limites de exposição, entre outras variáveis.

## **2 OBJETIVO**

Apresentar uma descrição dos principais conceitos e fundamentos relacionados com a radiação proveniente de instalações de energia elétrica em 50/60 Hz e as principais conseqüências a essa exposição a este tipo de radiação.

## **3 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS E SEUS EFEITOS**

### **3.1 Conceitos Básicos**

Os campos eletromagnéticos em 50/60Hz, também conhecidos pela sigla CEM, coexistem em ambientes residenciais e de trabalho, em função da operação de qualquer tipo de equipamento elétrico, da existência de fiação em prédios e também pela proximidade a linhas e subestações de energia elétrica.

As grandezas físicas pelas quais se expressam os limites de exposição a radiação não-ionizantes nas recomendações internacionais podem se referir tanto a situações em que um objeto físico estar presente no local considerando, como as situações em que não ocorre presença de qualquer objeto físico.

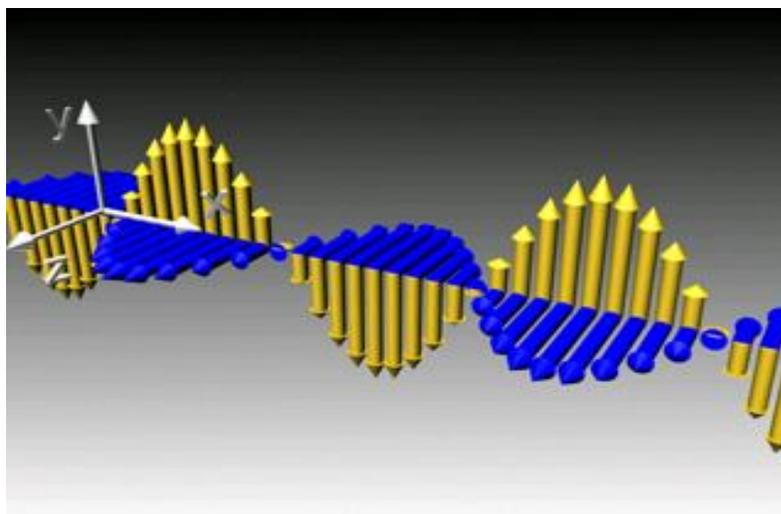
No primeiro caso, a distribuição de energia eletromagnética no espaço será alterada pela presença do objeto físico, e esta situação é referida como Campo Eletromagnético Perturbado, ou, situação “de corpo presente”. No outro caso, a distribuição de energia eletromagnética no espaço é não perturbada e a situação é descrita como “de corpo ausente”.

A recomendação da IRPA (International Radiation Protection Association), estabelece níveis de intensidade de campo elétrico e magnético, baseadas numa Taxa de Absorção Específica (Specific Absorption Rate - SAR), expressa em Watt/kg. Essa grandeza indica a absorção de energia pela massa de tecidos biológicos de parte ou da totalidade do corpo humano, interação com campos eletromagnéticos. É, portanto, uma grandeza dosimétrica.

Para a frequência de 50 e 60 Hz, a grandeza utilizada para especificar tais restrições é a densidade de corrente, uma vez que na faixa de frequências de 4 Hz a 1 KHz, em níveis de intensidade de correntes induzidas superiores a 100 mA/m<sup>2</sup>, 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. (ABRICEM, 2007)

A região de campo distante é a distância a partir da qual a onda emitida pela fonte emissora em campo livre tem características de onda plana, com seus vetores de campo elétrico e magnético perpendiculares entre si e ambos transversais a direção de propagação. (Conforme a Figura 1)

**Figura 1** – Onda Plana se propagando na direção x, com campos elétricos e magnéticos perpendiculares entre si (eixos z e y, respectivamente ou vice-versa).



Uma onda com estas características é dita puramente transversal e usualmente designada como *Onda Eletromagnética Transversal – TEM*.

Os campos elétricos e magnéticos gerados por linhas de transmissão e distribuição, subestações e geração de energia elétrica, podem ser caracterizados de acordo com sua magnitude, frequência, forma de onda, grau de polarização, variação espacial e variação temporal.

### **3.3 Radiações Ionizantes e Não-Ionizantes**

A preocupação pública com os possíveis efeitos sobre a saúde das radiações eletromagnéticas provenientes de Campos Eletromagnéticos (CEM) é um dos principais motivos que incentivou esta pesquisa. Esta preocupação tem recebido atenção especial ao longo dos últimos trinta anos.

Os riscos potenciais da exposição aos CEM devidos a instalações como Linhas de Transmissão e Estações Radio-Base de telefonia celular móvel representam um difícil conjunto de desafios para os órgãos tomadores de decisão.

Segundo a Organização mundial de Saúde – OMS (2002, p. 9), no seu catálogo *Estabelecendo um Diálogo Sobre Riscos de Campos Eletromagnéticos*, os desafios incluem:

...determinar se existe ameaça na exposição aos CEM e qual o impacto potencial sobre a saúde, isto é, avaliação de risco; reconhecer as razões que levam à preocupação por parte do público, isto é, percepção de risco; e implementar políticas que protejam a saúde pública e respondam às preocupações do público, isto é, gerência de risco. Responder a esses desafios requer o envolvimento de indivíduos ou organizações com o conjunto correto de competências, combinando a expertise científica relevante, boas aptidões para comunicação e o julgamento adequado nas áreas de gerência e regulamentação. Isso será sempre verdade em qualquer *contexto*, seja local, regional ou mesmo nacional ou global.

Campos eletromagnéticos (CEM) ocorrem na natureza e sempre estiveram presentes no dia-a-dia. Entretanto, durante o século vinte, a exposição ambiental a fontes de CEM criadas pelo homem aumentaram consistentemente devido à demanda por energia elétrica, tecnologias sem-fio em permanente evolução tecnológica e mudanças em práticas profissionais e comportamento social.

Todos estão expostos a uma diversidade complexa de campos elétricos e magnéticos em uma ampla faixa de frequências diferentes, em seu trabalho, na rua ou até mesmo nas suas casas.

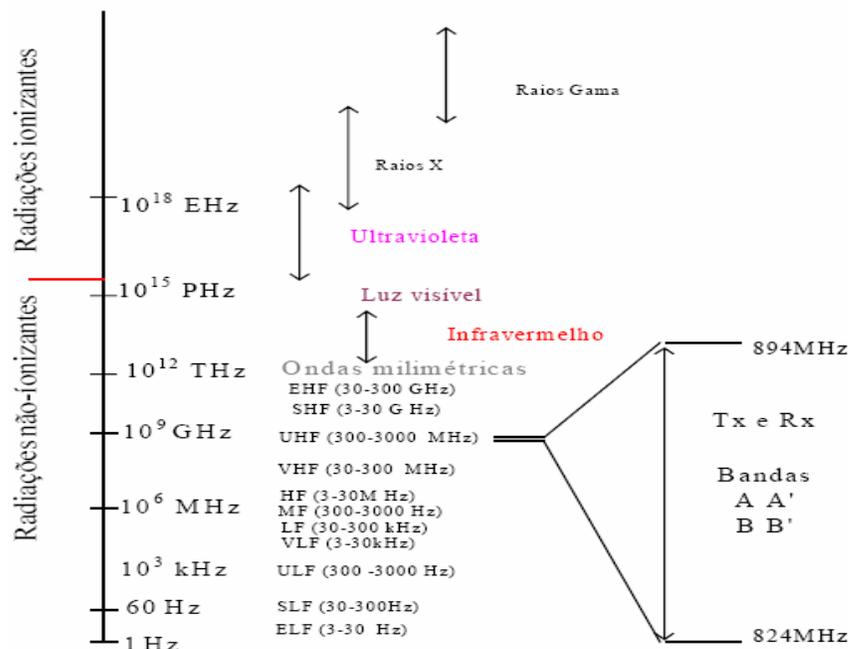
CEM podem ser divididos, de maneira geral, entre campos elétricos e magnéticos *estáticos* e de *baixas-frequências*, onde as fontes comuns incluem linhas de transmissão, aparelhos eletrodomésticos e computadores, e campos de *altas-frequências* ou de radiofrequências, para os quais as fontes principais são radares, instalações de emissoras de rádio e televisão, telefones móveis e suas estações rádio-base, aquecedores de indução e dispositivos anti-roubo. (OMS, 2002)

Ao contrário da Radiação Ionizante - RI (tais como raios gama emitidos por materiais radioativos, raios cósmicos e raios-X) que ocupa a parte superior do espectro eletromagnético, os CEM são demasiado fracos (energia menor que 10eV) para quebrarem ligações ou para arrancarem elétrons das moléculas nas células e, portanto, não podem produzir ionização. É por essa razão que CEM são chamados de Radiações Não-Ionizantes - RNI.

A radiação, embora seja um fenômeno com características específicas, é conceituada pela ciência de acordo com o número de vezes que o sinal eletromagnético oscila por segundo, medida esta que é expressa em Hertz (Hz). Os diferentes valores de frequência indicam diferentes tipos de radiação, dando origem a chamado espectro eletromagnético.

No início do espectro encontra-se os campos estáticos, associados a frequência  $f = 0$  Hz, ou seja, que não apresenta variação temporal. Os demais tipos de campos variáveis no tempo estão representados na Figura 2, que mostra o espectro eletromagnético, caracterizados as radiações ionizantes e não-ionizantes, de acordo com as faixas de frequência. Nos dedicaremos em especial a faixa de 50 - 60Hz, onde se encontram o sistema de energia elétrica.

Figura 2 – Espectro Eletromagnético



A Tabela 1, abaixo, indica as siglas referidas na Figura 2.

TABELA 1 – Siglas do Espectro de Radiação

SIGLAS	SIGNIFICADO
<b>ELF</b>	Extra Low Frequency (Frequências extremamente baixas)
<b>SLF</b>	Super Low Frequency (Frequências super baixas)
<b>ULF</b>	Ultra High Frequency (Frequências ultrabaixas)
<b>VLF</b>	Very Low Frequency (Frequências muito baixas)
<b>LF</b>	Low Frequency (Frequências baixas)
<b>MF</b>	Medium Frequency (Frequências médias)
<b>HF</b>	High Frequency (Frequências altas)
<b>VHF</b>	Very High Frequency (Frequências muito altas)
<b>SHF</b>	Super High Frequency (Frequências superaltas)
<b>EHF</b>	Extremely High Frequency (Frequências extremamente altas)

Ainda que os CEM sejam produzidos pelas mesmas fontes, as pesquisas sobre efeitos na saúde humana têm se detido mais em campos magnéticos do que em elétricos, isso porque estudos epidemiológicos têm indicado maior associação de riscos de doenças com campos magnéticos.

### **3.4 Efeitos de campos eletromagnéticos**

As pesquisas atuais buscam entender os mecanismos biológicos através dos quais as doenças ocorrem. Os estudos com animais e matérias biológicos podem possibilitar a observação de agentes específicos sob condições controladas. Porém, nem estudos biológicos ou em animais não reproduzem a real complexidade da natureza do ser humano em seu ambiente natural de vida. Isto torna difícil avaliar como resultados de laboratório podem ser extrapolados para efeitos na saúde humana. Também é importante saber distinguir entre um efeito biológico e um efeito na saúde, pois muitos efeitos biológicos estão dentro da gama normal de alteração do organismo, não sendo necessariamente prejudiciais.

Nesse contexto, a epidemiologia deve ser utilizada como ferramenta científica para se identificar riscos à saúde humana. Vários fatores têm de ser considerados para validação de resultados de um estudo epidemiológico, entre eles: associação entre CEM e doença, e a resposta em função da dosagem de exposição; colaboração de experimentos de laboratório; consistência de reprodução de resultados; metodologia consistente de estudo; significação estatística; análise agrupada de diversas experiências.

Uma forma de classificar os efeitos na saúde é através do tempo, onde estes podem ser de ação imediata ou de curto prazo e os de longo prazo. Entre os primeiros a curto prazo estão: estimulação das células nervosas do cérebro, de nervos periféricos, de músculos, incluindo o coração, além de choques e queimaduras causadas por contacto com objetos condutores, podendo ocorrer, em função da intensidade de corrente aplicada, dificuldades de respiração e fibrilação ventricular (batimento cardíaco desordenado). O principal mecanismo de interação nestes casos é a indução de corrente elétrica no corpo, e os efeitos ocorrem somente durante o período de exposição aos campos. Um dos efeitos observados em voluntários expostos a campos magnéticos de baixas frequências com intensidade bastante elevada é a indução de fosfenos, sensações visuais brilhantes e oscilatórias, sentidos mesmo com os olhos fechados. Esses fosfenos sendo induzidos podem comprimir o globo ocular mesmo com a pálpebra fechada. (ABRICEM, 2008)

Na faixa de 50/60Hz, os campos elétricos possuem baixa capacidade de penetração em material biológico, a grande maioria dos efeitos está associada principalmente a exposição a campos magnéticos.

A Organização Mundial de Saúde(OMS, 2002) recomenda para a exposição ambiental, isto é, para público geral e campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo na frequência de 50 e 60 Hz, os seguintes limites:

- Limite para Campo Elétrico: 4,20 kV / m
- Limite para Campo Magnético: 0,83mT

No Brasil, a Título da Regulamentação são utilizadas as:

I. Norma NBR 5422 – Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.

II. Norma Regulamentadora NR9 – Programas de Prevenção de Riscos Ambientais.

III. Norma Regulamentadora NR15 – Atividades e Operações insalubres.

<b>Valores Limites</b>	<b>Campo Elétrico (kV/m)</b>	<b>Densidade de Fluxo Magnético (mT)</b>
<b>Ocupacional</b>	25	1.000
<b>Público em Geral</b>	5 *	-
* Valor estabelecido no limite de faixas de segurança de linhas de transmissão.		

Vemos que os valores nacionais estão acima dos recomendados pela OMS. A interação com o corpo humano dependerá da intensidade e frequência dos campos e a densidade da corrente serão proporcionais ao laço (caminho fechado), à condutividade elétrica do tecido, à taxa de variação e a amplitude da densidade do fluxo magnético. O caminho exato e a amplitude da corrente induzida em qualquer parte do corpo, dependerão da condutividade elétrica do tecido. (ABRICEM, 2008)

#### **4 CONCLUSÕES**

Apesar das evidências científicas em associar a exposição a campos elétricos e magnéticos a possíveis riscos à saúde humana, ainda temos poucas pesquisa, especialmente no Brasil.

Os estudos desenvolvidos sobre a exposição de indivíduos a campos elétricos e magnéticos fornecem ainda pouco suporte para a correlação do aumento do risco de doenças com o aumento da exposição aos campos. A dificuldade de uma consistência de reprodução de resultados e metodologias de estudo, além de significação estatística permite a observação de que algum outro fator que não os campos, ou alguma fonte comum de erro, poderia explicar esta correlação.

Sendo assim, devemos incentivar o debate público, fomentado pelos governos e órgãos ambientais federais, estaduais e municipais, promovido pela agência reguladora do serviço (ANEEL), financiado pelas prestadoras do serviço e incentivado pelos legisladores, nas diversas esferas. A audiência pública, instrumento legal previsto, deve ser amplamente explorado, desde que devidamente subsidiado, evitando o calor das discussões sem qualquer respaldo que podem dispersar o resultado ideal. Face a inexistência de investimento em pesquisas científicas no país, deve-se ainda difundir as referências mais qualificadas e aceitas nesta área pela comunidade científica internacional.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRICEM. **Banco de Informações:** Normas. Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética. Disponível em: <[http://www.abricem.com.br/bancoinfo\\_normas.html](http://www.abricem.com.br/bancoinfo_normas.html)>. Acesso: 03 e junho de 2007.

ABRICEM. **Projeto Abricem e Eletropaulo:** gerenciamento de campos elétricos e magnéticos de baixa frequência: normalização, metodologia de medições e limites de exposição segura a radiação 60hz. Disponível em: <<http://www.abricem.com.br/gte/index.htm>>. Acesso: 03 e jan de 2008.

ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. **Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Eletromagnetic Fields**, Health Phisics. vol. 74. Nº 4, pp. 484-522, 1998.

OMS. **Estabelecendo um Diálogo Sobre Riscos de Campos Eletromagnéticos.** Organização Mundial de Saúde. Genebra, Suíça. 2002.

SCUDELER, Fátima Clarét Sêda Ribeiro. **Interação das ondas eletromagnéticas com o material biológico.** Instituto Nacional de Telecomunicações. Dissertação de Mestrado. Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais. 2005. Disponível em <[www.inatel.br/mestrado/Dissertacoes/Fatima%20Claret%20Seda%20R%20Scudeler.pdf](http://www.inatel.br/mestrado/Dissertacoes/Fatima%20Claret%20Seda%20R%20Scudeler.pdf)>. Acesso em: 05 de Junho de 2007.