



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Campos Magnéticos em Frequência Industrial Inseridos
no Contexto da Higiene Ocupacional**

Fernando Ricardo Pessoa Retes

Dissertação de Mestrado PPGEE-14/99
Orientador: Prof. Dr. Jaime Arturo Ramírez

dezembro/1999



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

Fernando Ricardo Pessoa Retes

Campos Magnéticos em Frequência Industrial Inseridos no Contexto da Higiene Ocupacional

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica, elaborada sob a orientação do Prof. Dr. Jaime Arturo Ramírez.

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte
1999



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

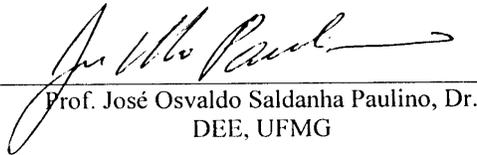
“Campo Magnético em Frequência Industrial Inserido no Contexto da Higiene Ocupacional”

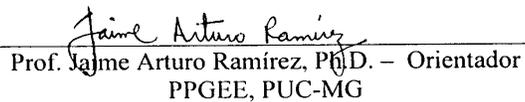
Fernando Ricardo Pessoa Retes

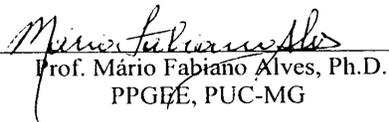
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

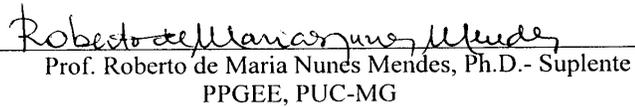
Aprovada em 16 de dezembro de 1999

Por:


Prof. José Osvaldo Saldanha Paulino, Dr.
DEE, UFMG


Prof. Jaime Arturo Ramirez, Ph.D. – Orientador
PPGEE, PUC-MG


Prof. Mário Fabiano Alves, Ph.D.
PPGEE, PUC-MG


Prof. Roberto de Maria Nunes Mendes, Ph.D.- Suplente
PPGEE, PUC-MG

RESUMO

Este trabalho aborda a importância do estudo de campo magnético em frequência industrial – 60 Hz, pertinente à higiene ocupacional.

São apresentados aspectos sobre a avaliação da exposição do ser humano ao campo magnético, onde são explicitados quais são os parâmetros importantes para a sua quantificação. Entre os parâmetros destacam-se: intensidade, frequência, valor de pico, variações temporal e espacial.

Diversas normas sobre limites de exposição ocupacional já estão publicadas por vários organismos internacionais. Este trabalho apresenta um estudo crítico de cinco dessas normas, relacionadas a seguir: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP), Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), National Radiological Protection Board (NRPB) e Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker (DIN/VDE).

Foram efetuadas medições de campo magnético em uma residência e em uma indústria e os valores do campo comparados com os limites de exposição ocupacional das cinco normas estudadas. O maior valor medido na residência foi 0,32 μT e na indústria 3,11 μT . Estes valores estão bem inferiores aos estabelecidos nas normas analisadas (10^3 vezes menores).

ABSTRACT

This dissertation focuses the study of magnetic fields in power frequency – 60 Hz, concerned with occupational hygiene.

The work presents features about the evaluation of the exposure of human beings to magnetic fields, in which important parameters for the quantification of the magnetic field are explicitly given. Among the parameters are: intensity, frequency, peak value, spatial and temporal variation.

Many standards about the limits of occupational exposure have already been published by international bodies. This work presents a actual review of five standards, i.e.: American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection-ICNIRP, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique – CENELEC, National Radiological Protection Board – NRPB and Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker – DIN/VDE.

The magnetic field was measured in a local residence and in an industry. The values obtained were compared with the limits of occupational exposure of the standards studies. The highest value measured in the residence was $0.31\mu\text{T}$ and in the industry $3.11\mu\text{T}$. These values are much lower than those pre-defined by the standards (10^3 lower).

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jaime Arturo Ramirez pelo incentivo e orientação.

À Fapemig – Fiemg – IEL pela ajuda financeira.

À empresa MF Consultoria pelo interesse sobre o assunto pesquisado.

Ao CNPq, Capes e Eletrobrás pelo apoio indireto.

Ao Prof. José Osvaldo Saldanha Paulino e a doutoranda Marisa Lages Murta (UFMG) pela colaboração no item medição de campo magnético.

À Simone, minha esposa; Carolina e Guilherme, meus filhos, pelo apoio e estímulo, paciência e compreensão durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

A toda a minha família, pelo carinho e incentivo.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
NOMENCLATURA	xi
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Relevância.....	1
1.2 Uma Visão Histórica.....	3
1.3 Objetivos do Trabalho.....	4
1.3.1 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Metodologia.....	7
1.5 Revisão Bibliográfica.....	7
1.5.1 Resumo da Revisão Bibliográfica.....	15
1.6 Organização do Trabalho.....	17
2 – AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A CAMPO MAGNÉTICO	18
2.1 Introdução.....	18
2.2 Campo Magnético.....	21
2.2.1 Propriedades do Campo Magnético.....	22
2.3 Exposição.....	30
2.4 Conclusão.....	31
3 – LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL	33
3.1 Introdução.....	33
3.2 Critério para o Limite de Exposição.....	33
3.2.1 Modelo Físico para Densidade de Corrente Induzida.....	34

3.3 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).....	36
3.3.1 Campos Magnéticos.....	36
3.3.2 Campos Elétricos.....	37
3.4 Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC).....	37
3.4.1 Campos Magnéticos.....	38
3.4.2 Campos Elétricos.....	39
3.4.3 Campos de Diferentes Freqüências.....	40
3.5 Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker (DIN/VDE).....	41
3.5.1 Campos Magnéticos.....	41
3.5.2 Campos Elétricos.....	42
3.5.3 Campos de Diferentes Freqüências.....	43
3.6 International Commission on Non-Ionnizing Radiation Protection (ICNIRP).....	44
3.6.1 Campos de Diferentes Freqüências.....	46
3.7 National Radiological Protection Board (NRPB).....	47
3.7.1 Campos magnéticos.....	48
3.7.2 Campos Elétricos.....	49
3.7.3 Campos de Diferentes Freqüências.....	50
3.8 Discussão.....	50
3.8.1 Terminologia.....	50
3.8.2 Duração da Exposição.....	51
3.8.3 Nível de Exposição.....	51
3.8.4 Fatores de Segurança.....	55
3.9 Conclusão.....	57
4 – MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO.....	58
4.1 Introdução.....	58
4.2 Protocolos de Medição Utilizados.....	58
4.3 Medição de Campo Magnético em uma Residência.....	59

4.3.1 Caracterização da Residência.....	61
4.3.2 Procedimentos Adotados.....	61
4.3.3 Equipamento Utilizado.....	61
4.3.4 Valores Encontrados.....	61
4.3.5 Análise dos Resultados.....	62
4.4 Medição de Campo Magnético em uma Indústria.....	62
4.4.1 Caracterização da Indústria.....	63
4.4.2 Procedimentos Adotados.....	63
4.4.3 Equipamento Utilizado.....	64
4.4.4 Valores Encontrados.....	64
4.4.5 Análise dos Resultados.....	65
4.5 Conclusão.....	66
5 – CONCLUSÕES.....	68
5.1 Propostas de Continuidade.....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXO A	75
ANEXO B.....	81
ANEXO C.....	89

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Higiene ocupacional – exposição a campos eletromagnéticos eventos e disciplinas envolvidas.....	19
2.2 - Vetor campo magnético estático B_0 e a forma do vetor campo magnético variável no tempo, medido próximo a um transformador.....	22
2.3 – Formas de onda do campo magnético dos três eixos ortogonais (correspondente ao campo mostrado na figura 2.2).....	26
2.4 – Espectro de frequência, calculado pela Transformada Rápida de Fourier, do campo magnético relativo às formas de onda da figura 2.3	27
2.5 – Quatro configurações de fonte de campo magnético	28
2.6 – Três tipos de polarização de campo magnético de uma única frequência de onda senoidal.....	29
4.1 – Planta de situação dos locais de medição do campo magnético no apartamento	60
4.2 – Planta baixa do setor onde foram efetuadas as medições na indústria.....	67

LISTA DE TABELAS

1.1 – Ordem cronológica de trabalhos significativos sobre influência de campos eletromagnéticos no ser humano.....	4
1.2 – Resumo de algumas características das principais referências bibliográficas.....	16
2.1 – Valores da medição referentes às figuras 2.2 e 2.3.....	25
2.2 – Mecanismo de iteração e parâmetros de campo magnético envolvidos.....	31
3.1 – Características das variáveis usadas no modelo físico para densidade de corrente induzida.....	36
3.2 – Nível de referência ocupacional para campos magnéticos.....	39
3.3 – Nível de referência ocupacional para campos elétricos.....	40
3.4 – Nível derivado ocupacional para exposição a campos magnéticos..	42
3.5 – Nível derivado ocupacional para exposição a campos elétricos.....	43
3.6 – Restrição básica para campos elétricos e magnéticos variáveis com o tempo, para frequências até 1 kHz.....	45
3.7 – Nível de referência para exposição aos campos elétrico e magnético variáveis com o tempo, para frequências até 0,8 kHz (rms).....	46
3.8 – Restrição básica para exposição a campos elétricos e magnéticos.	48
3.9 – Nível de investigação para exposição a campos magnéticos.....	49
3.10 – Nível de investigação para exposição a campos elétricos.....	49
3.11 – Limites de exposição ocupacional ao campo elétrico – 60 Hz.....	53
3.12 – Limites de exposição ocupacional ao campo magnético – 60 Hz...	54
3.13 – Densidade de corrente induzida para os limites de exposição ocupacional a campos magnéticos de 60 Hz.....	55

3.14 – Limiar da densidade de corrente para estímulo cardíaco e fibrilação ventricular.....	56
3.15 – Fator de segurança implícito nos limites de exposição ocupacional.....	57
4.1 – Valores das medições de campo magnético obtidos na residência pesquisada.....	62
4.2 – Valores das medições de campo magnético obtidos na indústria pesquisada.....	64

NOMENCLATURA

VARIÁVEL	FÓRMULA
<p>B - vetor densidade de fluxo magnético. No contexto deste trabalho é a denominação genérica do vetor campo magnético.</p> <p>H - vetor intensidade de campo magnético.</p> <p>μ - permeabilidade magnética do meio</p>	$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$
<p>B(t) – vetor campo magnético total em um ponto do espaço.</p> <p>B₀ – vetor campo magnético estático em um ponto do espaço.</p> <p>B_{ELF}(t) – vetor campo magnético instantâneo variável no tempo em um ponto do espaço.</p>	$\mathbf{B}(t) = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_{ELF}(t)$
<p>\hat{x}, \hat{y} e \hat{z} - vetores unitários do sistema cartesiano de coordenadas.</p> <p>B_{0x} – módulo do campo magnético estático em um ponto do espaço, na direção X do sistema cartesiano de coordenadas.</p> <p>B_{0y} – módulo do campo magnético estático em um ponto do espaço, na direção Y do sistema cartesiano de coordenadas.</p> <p>B_{0z} – módulo do campo magnético estático em um ponto do espaço, na direção Z do sistema cartesiano de coordenadas.</p>	$\mathbf{B}_0 = \hat{x}B_{0x} + \hat{y}B_{0y} + \hat{z}B_{0z}$
<p>B_x(t) – módulo do campo magnético instantâneo variável no tempo, na direção X do sistema cartesiano de coordenadas</p> <p>B_y(t) – módulo do campo magnético instantâneo variável no tempo, na direção Y do sistema cartesiano de coordenadas</p> <p>B_z(t) – módulo do campo magnético instantâneo variável no tempo, na direção Z do sistema cartesiano de coordenadas</p>	$\mathbf{B}_{ELF}(t) = \hat{x}B_x(t) + \hat{y}B_y(t) + \hat{z}B_z(t)$
<p>B_{0R} – módulo do vetor campo magnético estático em um ponto do espaço.</p>	$\mathbf{B}_{0R} = \sqrt{B_{0x}^2 + B_{0y}^2 + B_{0z}^2}$

VARIÁVEL	FÓRMULA
B_{ELFR} – módulo do vetor campo magnético instantâneo variável no tempo.	$B_{ELFR} = \sqrt{[B_x(t)]^2 + [B_y(t)]^2 + [B_z(t)]^2}$
B_{rms} – valor médio quadrático eficaz do vetor campo magnético instantâneo variável no tempo T – tempo de integração	$B_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} [B_{ELF}(t)]^2 dt}$
B_{ELF} – valor médio quadrático eficaz do vetor campo magnético resultante devido aos valores dos campos de diferentes freqüências.	$B_{ELF} = \sqrt{\sum_{f>0} B_f^2}$
B_f – intensidade resultante média quadrática eficaz do vetor campo magnético na freqüência f .	$B_f = \sqrt{B_{fx}^2 + B_{fy}^2 + B_{fz}^2}$
$\%a$ – valor percentual da polarização. $B_{eixo\ menor}$ – valor do campo magnético segundo o eixo menor da elipse. $B_{eixo\ maior}$ – valor do campo magnético segundo o eixo maior da elipse.	$\%a = \frac{B_{eixo\ menor}}{B_{eixo\ maior}} \times 100\%$
EA – exposição acumulada de um ser humano a um campo magnético de intensidade variável ou não, função da posição X, Y e Z (coordenadas cartesianas) e do tempo.	$EA = \int_0^T B[x_B(t), y_B(t), z_B(t), t] dt$

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Relevância

O ser humano sempre esteve exposto a campos elétricos e magnéticos oriundos de fontes naturais. Nos últimos 50 anos, houve um acréscimo significativo dos equipamentos elétricos feitos pelo homem que operam na frequência de 50 – 60 Hz, conhecida como frequência industrial .

Os campos elétricos e magnéticos produzidos pelo homem superam em valor, de forma bastante acentuada, os das fontes naturais. O campo elétrico natural na frequência industrial é da ordem de 10^{-4} V/m, enquanto que na vizinhança de uma linha de transmissão de alta tensão o valor é 10^8 vezes maior. Os campos elétricos encontrados nas residências, devidos aos aparelhos eletrodomésticos são da ordem de 10^3 a 10^6 vezes maiores que o natural [39].

O campo magnético natural na superfície da terra consiste de duas componentes, a vertical e a horizontal. Nos polos magnéticos a componente vertical é máxima e é igual a $67 \mu\text{T}$, enquanto a componente horizontal é nula. Já no equador a componente vertical é nula e a horizontal é máxima e igual a $33 \mu\text{T}$ [59]. Também os campos magnéticos oriundos de fontes feitas pelo homem excedem em muito os campos magnéticos naturais. Os valores medidos próximos a equipamentos operando na frequência industrial, variam de dezenas de μT a dezenas de mT.

Dentro de todo corpo humano existem campos elétricos e correntes endógenas, que desempenham um papel importante nos mecanismos complexos do controle fisiológico, tais como: atividade neuromuscular, secreção glandular, função célula-membrana e no desenvolvimento, acréscimo e reparo dos tecidos. Não há surpresa então, da existência de dúvidas sobre a ocorrência de possíveis efeitos biológicos devido à exposição aos campos elétricos e magnéticos produzidos pelo homem [40].

Órgãos como o Electric Power Research Institute – EPRI, desde 1975 vem pesquisando o assunto [19]; também a Organização Mundial da Saúde –

OMS iniciou um programa de pesquisas em 1996 [57], com a colaboração das seguintes organizações internacionais: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP, International Agency for Research on Cancer – IARC, International Labour Office – ILO, International Telecommunication Union – ITU, European Commission – EC, International Electrotechnical Commission – IEC, United Nations Environment Programme – UNEP e North Atlantic Treaty Organization – NATO.

A International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection apresentou em 1990 [40], uma norma sobre limites de tolerância aos campos eletromagnéticos de 50/60 Hz. A edição atualizada é de 1998 [34].

A European Commission possui um setor específico desde 1992, para a pesquisa dos efeitos biológicos devido aos campos elétricos e magnéticos, denominado European Cooperation in the Field of Science and Technical Research – COST [14]

O programa Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination – EMF RAPID aprovado pelo governo dos Estados Unidos em 1992, tem como um dos seus objetivos responder se a exposição do ser humano aos campos elétricos e magnéticos de frequência industrial provocam ou não algum distúrbio em sua saúde. Este programa nos anos de 1994, 1995, e 1996 consumiu 29,9 milhões de dólares [44].

Segundo dados do EPRI [19] em 1993 foram alocados em pesquisas sobre o tema mais de 40 milhões de dólares em todo o mundo.

Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos no Brasil sobre os possíveis efeitos biológicos devido à exposição a campos elétrico e magnético em frequência industrial. Podem ser citadas duas dissertações de mestrado, a elaborada por Inês Echenique Mattos intitulada “*Mortalidade por câncer em trabalhadores de companhia geradora de eletricidade em São Paulo*” em 1993 pela Fundação Oswaldo Cruz e, a de Antônio Carlos Pinho “*O cálculo de campo elétrico em 2D gerado por linhas de transmissão e o efeito em seres vivos*”, em 1994 pela Universidade Federal de Santa Catarina. Não se tem conhecimento de nenhuma norma publicada ou em elaboração relativa aos limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos, seja na Associação Brasileira de Nor-

mas Técnicas – ABNT ou no Ministério do Trabalho, órgão responsável pela saúde e segurança no trabalho em nosso país.

1.2 Uma Visão Histórica

A Rússia foi um dos primeiros países a iniciar pesquisa sobre os efeitos biológicos devido a exposição a campos elétricos e magnéticos na população em geral e, especialmente nos trabalhadores. Na década de 1950, o governo soviético introduziu as primeiras normas de higiene do trabalho limitando a exposição a campos magnéticos. A maioria das pesquisas sobre os possíveis efeitos adversos à saúde devido aos campos eletromagnéticos foram publicados no idioma russo e permanecem praticamente desconhecidos da comunidade científica internacional [60].

No mundo ocidental pesquisas sobre o assunto em tela vem sendo desenvolvidas desde 1975. Em 1979 a publicação de um estudo epidemiológico elaborado pela Dra. Nancy Wertheimer e Mr. Ed Leeper [55] mostrou a associação de câncer em crianças e linhas de transmissão próximas às residências dessas crianças. Essa pesquisa foi desenvolvida em Denver no estado americano do Colorado. Apesar desse estudo ter sido bastante criticado principalmente pelo tipo de metodologia empregada, ele é reconhecido como o ponto de partida histórico do assunto [32].

A Tabela 1.1 mostra a ordem cronológica de trabalhos significativos, a partir do estudo de Wertheimer e Leeper, conforme inicialmente discutido por [32]

Tabela 1.1 Ordem cronológica de trabalhos significativos sobre a influência de campos eletromagnéticos no ser humano [32]

TRABALHOS	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	ANO
Wertheimer & Leeper Study	[55]	1979
State of Florida Proposes EMF Regulations	[26]	1985
Savitz Case Study	[50]	1988
New Yorker Magazine-Annal of Radiation by Brodeur	[6]	1989
Telephone Lineman Study (Johns Hopkins)	[43]	1989
Interim Guidelines on Limits of Exposure	[40]	1990
Currents of Death Book by Brodeur	[5]	1990
IEEE EMF Seminar	[35]	1991
Currents of Death Rectified Article by E. R. Adair	[2]	1991
USC/EPRI Study	[20]	1991
New Yorker Magazine-Article on Slater School by Brodeur	[8]	1992
Swedish Study #1	[24]	1992
Swedish Study #2	[25]	1992
Swedish Board	[27]	1992
Danish Study	[48]	1992
SCE/UCLA Occupational Study	[49]	1993
Mount Tamalpais article	[56]	1993
EPRI Home Survey	[21]	1993
The Great Power-Line Cover-Up	[7]	1993
Canadian/French EMF Occupational Study	[52]	1994
North Carolina Study	[15]	1994
Alzheimer's Disease Study	[16]	1994

1.3 Objetivos do Trabalho

O foco da higiene ocupacional é a antecipação, reconhecimento, avaliação e controle dos agentes físicos, químicos e biológicos presentes no ambiente, que podem afetar a saúde dos trabalhadores e dos demais membros da comunidade. Consideram-se agentes físicos diversas formas de energia a que possam estar expostos os seres humanos, tais como: ruído, vibrações, pres-

sões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, bem como o infra-som e ultra-som.

Os campos elétricos e magnéticos em frequência industrial – 60 Hz fazem parte das radiações não ionizantes.

O Anexo B apresenta alguns conceitos sobre a higiene ocupacional, as radiações eletromagnéticas, o espectro eletromagnético. Também são apresentados os conceitos básicos de eletricidade, de campos elétrico e magnético.

No Brasil, o assunto higiene ocupacional relativo aos trabalhadores está previsto na Lei Nº 6.514 de 22 de dezembro de 1977 [13] que altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à Segurança e Medicina do Trabalho. O Artigo 200 desta Lei diz que “ *cabe ao Ministério do Trabalho estabelecer disposições complementares às normas de que trata este Capítulo, tendo em vista as peculiaridades de cada atividade ou setor de trabalho, especialmente sobre:*

§ VI – proteção do trabalhador exposto a substâncias químicas nocivas, radiações ionizantes e não ionizantes, ruídos, vibrações e trepidações ou pressões anormais ao ambiente de trabalho, com especificação das medidas cabíveis para eliminação, ou atenuação desses efeitos, limites máximos quanto ao tempo de exposição, à intensidade da ação ou de seus efeitos sobre o organismo do trabalhador, exames médicos obrigatórios, limites de idade, controle permanente dos locais de trabalho e das demais exigências que se façam necessárias”.

A Portaria Nº 3.214 de 08 de junho de 1978 [11] aprova as Normas Regulamentadoras – NR do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Existem atualmente 29 NR publicadas. Dentre elas, duas estão diretamente relacionadas com as radiações não ionizantes.

A primeira é a NR-9 [12] denominada Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Ela tem por objetivos principais: garantir a salubridade nos locais de trabalho, preservar a saúde e a integridade física dos trabalhadores, prevenir os riscos ambientais capazes de causar danos à saúde do trabalhador, assegurar aos trabalhadores padrões adequados de saúde e bem-estar no ambiente de trabalho como também a proteção ao meio ambiente e aos recursos

naturais. A NR-9 cita as radiações não ionizantes como um dos agentes físicos que devem ser analisados, sem contudo explicitar qualquer esclarecimento adicional.

A segunda é a NR-15 – Atividades e Operações Insalubres. Em seu Anexo N° 7 - Radiações Não Ionizantes define como tal somente as microondas, ultravioletas e o laser.

Pode-se notar que nos dispositivos legais citados, os campos elétricos e magnéticos em frequência industrial não mereceram a devida atenção.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT não possui norma publicada relativa aos limites máximos quanto ao tempo de exposição aos campos elétricos e magnéticos em 60 Hz.

Neste trabalho são abordados aspectos sobre avaliação da exposição a campo magnético – 60 Hz, e medições em uma residência próxima a uma linha de transmissão de 138 kV bem como em uma indústria de auto peças

Existem normas publicadas por organismos internacionais que definem os limites de exposições aos campos elétricos e magnéticos – 60 Hz. Neste trabalho serão retratadas as normas desenvolvidas pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH dos Estados Unidos, pelo National Radiological Protection Board – NRPB do Reino Unido, pela International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – ICNIRP, pelo Comité Européen de Normalisation Electrotechnique – CENELEC e pelo Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker – DIN/VDE da Alemanha.

A presença de diversos organismos internacionais pesquisando os mais variados aspectos dos campos elétricos e magnéticos – 60 Hz é uma realidade. Neste trabalho são apresentadas duas organizações de destaque e importância no mundo científico.

1.3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- abordar aspectos sobre avaliação da exposição a campo magnético 60 Hz;

- apresentar valores, de campo magnético, obtidos em medições em uma residência próxima a uma linha de transmissão de 138 kV e em uma indústria de auto peças;
- fazer um estudo comparativo entre os limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos em frequência industrial desenvolvidos por cinco organizações internacionais diferentes;
- apresentar duas organizações de destaque e importância no mundo científico que estão estudando os efeitos dos campos elétricos e magnéticos no ser humano.

1.4 Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho baseia-se na pesquisa documental. Foram utilizadas como fontes de pesquisas artigos científicos, livros, manuais e relatórios técnicos. Essas fontes foram consultadas e/ou obtidas nas bibliotecas da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais e em diversos endereços da Internet.

Este trabalho apoia-se basicamente na leitura crítica de referências e normas publicadas sobre os efeitos dos campos elétricos e magnéticos em frequência industrial no ser humano.

A literatura pesquisada mostra dois aspectos muito interessantes que são a diversidade dos temas tratados e os conflitos dos resultados obtidos. Muitos trabalhos estão envolvidos com pesquisas de um determinado tema, por exemplo exposição de trabalhadores de concessionárias de energia elétrica aos campos magnéticos, enquanto outros enfocam as vantagens de um processo estatístico de tratamento de dados. A maior parte deles no entanto, converge para a necessidade de se estabelecer critérios de medição de campos elétricos e magnéticos – 60 Hz, a nível de exposição ocupacional.

1.5 Revisão Bibliográfica

Em 1987 a Organização Mundial da Saúde publicou um livro [59] em colaboração com a Organização Internacional do Trabalho e com o Programa do

Meio Ambiente das Nações Unidas. Este livro apresenta uma revisão dos dados disponíveis sobre os efeitos da exposição a campos magnéticos nos sistemas biológicos, em especial a saúde do ser humano. A revisão inclui: características físicas dos campos magnéticos e fontes de exposição, mecanismos de interação, efeitos biológicos, normas de medidas preventivas. Este livro dedica um capítulo sobre limites de exposição a campos magnéticos, informando que somente a União Soviética possui norma sobre limites máximos de exposição a campos magnéticos na frequência de 50 Hz. Há informação no livro que os limites foram desenvolvidos para uma tarefa específica que é a da solda a arco.

A primeira norma a nível internacional que trata dos limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos de 50/60 Hz foi publicada em 1990 [40]. Esta norma descreve as grandezas e unidades envolvidas, define duas classes de população a ser protegida, a do público em geral e a dos trabalhadores. A norma apresenta ainda os critérios adotados para o estabelecimento dos limites de exposição. Os limites podem ser resumidos em:

Características de Exposição	Campo Elétrico	Densidade de Fluxo Magnético
	KV/m (rms)	mT (rms)
<u>Trabalhador</u>		
Exposição contínua	10	0,5
Exposição curta duração	30	5
Membros do corpo	-	25
<u>Público em Geral</u>		
Até 24 horas	5	0,1
Poucas horas por dia	10	1

As recomendações sobre os limites de exposição de seres humanos a campos eletromagnéticos estáticos, de frequência industrial e radiofrequência no Reino Unido foram publicadas em 1993 [47]. Essas recomendações são baseadas na avaliação de possíveis efeitos sobre a saúde humana, oriundas de informações biológicas, de dados dosimétricos e de estudos de exposição de seres humanos a esses campos. Os limites aplicam-se igualmente aos trabalhadores e ao público em geral. Para frequência industrial os valores podem ser resumidos em: campo elétrico: 10 kV/m (rms); campo magnético: 1,3 mT (rms).

A contribuição [39], publicada em 1994 pela International Labour Office, faz parte de um programa internacional de melhoramento das condições de trabalho e meio ambiente. Esta referência fornece informações sobre os possíveis efeitos dos campos elétricos e magnéticos na frequência de 50/60 Hz sobre a saúde humana. É abordado nesta referência os seguintes tópicos: (i) características de campos elétricos e magnéticos, (ii) medição e níveis de exposição nos locais de trabalho, (iii) mecanismos de interação, (iv) observações e estudos em laboratório, (v) limites de exposição ocupacional e (vi) prevenção e medidas de controle. Esta referência apresenta os limites de exposição idênticos aos apresentados na referência [40]. Ela também apresenta uma relação de países que já adotaram limites de exposição ocupacional. Entre outros países pode-se citar: Austrália, Japão, Polônia e Estados Unidos.

Hitchcock e Patterson publicaram em 1995 um livro [30] que dedica um dos seus dez capítulos aos campos elétricos e magnéticos de extrema baixa frequência (60 Hz). Os seguintes assuntos são tratados neste capítulo: interação com o ser humano, fontes e exposições, efeitos biológicos, medições, limites de exposição, gerenciamento dos campos. No item fontes e exposições, o livro apresenta tabelas que indicam os valores de campos magnéticos por tipo de fonte, por tipo de ambiente de trabalho, por tipo de ocupação. Sobre os limites de exposição, o livro apresenta os valores da referência [40], o de uma organização americana e os da norma alemã DIN VDE Standard 0848. Os demais capítulos do livro tratam de diversos assuntos relacionados com campos eletromagnéticos em radiofrequência.

Horton e Goldberg publicaram em 1995 um livro [32], que aborda questões sobre campos magnéticos em frequência industrial. Este livro trata dos possíveis efeitos sobre a saúde, fornece explicações teóricas sobre os campos e aspectos sobre medição, cita as principais fontes, suas características, gerenciamento através de blindagem e, aborda os aspectos normativos sobre limites de exposição. São apresentados neste livro os limites de exposição utilizados por algumas concessionárias de energia dos Estados Unidos e de alguns países, entre os quais a Austrália, Reino Unido, Suécia. O livro menciona com destaque os valores da referência [40].

A contribuição [1] é um livro publicado em 1996 pela American Conference of Governmental Industrial Hygienists que apresenta os limites de exposição para substâncias químicas, agentes físicos e índices biológicos de exposição. Entre os agentes físicos encontram-se os campos elétricos e magnéticos até 30 kHz. São apresentadas duas fórmulas que permitem calcular os valores máximos de exposições ocupacionais. Para 60 Hz os valores são : campo elétrico: 25 kV/m, campo magnético: 1 mT.

Conforme descrito em [19] o Electric Power Research Institute – EPRI desde 1975 está pesquisando os possíveis efeitos biológicos devido à exposição a campos elétricos e magnéticos. Os trabalhos são enfatizados nas seguintes áreas: estudos epidemiológicos, desenvolvimento e comercialização de instrumentos de medição de campos elétricos e magnéticos, caracterização de fontes de campos magnéticos e experimentos em laboratórios. Sobre os instrumentos de medição de campos, já estão sendo comercializados equipamentos portáteis denominados EMDEX que permitem a medição de campo magnético em 60 Hz e harmônicos até 800 Hz.

A referência [22], publicada em 1996, apresenta três livros escritos pelo Electric Power Research Institute – EPRI sobre o gerenciamento de campos magnéticos em linhas de transmissão. Esses livros foram publicados sob o título *Magnetic Field Management for Overhead Transmission Lines*. O primeiro livro possui o subtítulo *A Primer*, o segundo *Potential Options for Low-Field Designs* e o terceiro *Field Reduction Using Cancellation Loops*. Isto ressalta a importância que este assunto específico vem recebendo por parte do EPRI.

Em 1997, o Departamento de Energia dos Estados Unidos através do Projeto 1 do EMF Rapid [17] publicou um trabalho que contém orientações sobre medições de campo elétrico e magnético próximos a fontes específicas. O trabalho é dividido em três partes. A primeira trata da seleção dos parâmetros dos campos que devem ser medidos, em função do objetivo de um estudo. A segunda parte apresenta um processo para identificação das fontes dos campos. A terceira parte apresenta um protocolo para medição dos campos próximos a diversos tipos de fontes.

Em 1997, o Departamento de Energia dos Estados Unidos através do Projeto 2 do EMF Rapid [42] publicou um roteiro completo destinado a caracte-

rizar campos magnéticos num dado ambiente. Esse trabalho apresenta três relatórios de levantamentos reais em ambientes distintos: uma escola, uma indústria e um supermercado.

Em 1997, o Departamento de Energia dos Estados Unidos através do Projeto 4 do EMF Rapid [51] publicou um trabalho que contém um modelo de protocolo para medições pessoais de campo magnético. Ele apresenta dois estudos pilotos: um envolvendo alunos de uma escola de curso secundário e o outro envolvendo os funcionários de uma indústria eletrônica.

Bailey e co-autores [4] publicou em 1997 um artigo que aborda diversas questões sobre os limites de exposição a campos elétrico e magnético, apresentados por várias normas de diferentes origens.

A referência [10], publicada em 1998 pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta um modelo de avaliação de campos magnéticos para indústrias e mostra o resultado de diversas medições efetuadas. Foram avaliados os campos magnéticos em 62 indústrias de diferentes atividades. Foi verificado que não há correlação entre valores de campos magnéticos e o consumo de energia elétrica das indústrias.

A referência [44], publicada na Internet em 1998, apresenta os relatórios anuais do programa intitulado *The Electric and Magnetic Fields Research and Public Information Dissemination (EMF RAPID) Program*, aprovado pelo governo americano em 1992. O programa possui três objetivos: (i) determinar a existência ou não de efeitos adversos a saúde nos seres humanos devido à exposição a campos elétricos e magnéticos de frequência industrial, (ii) definir possíveis opções de gerenciamento dos campos elétricos e magnéticos em caso de qualquer efeito adverso à saúde, (iii) difundir informações sobre campos elétricos e magnéticos ao público em geral. O aporte financeiro nos anos de 94, 95 e 96 totalizou 29,9 milhões de dólares.

A referência [18], publicada na Internet em 1998, relata que a crescente incerteza sobre os possíveis efeitos a saúde humana devido à exposição a campos elétricos e magnéticos está afetando o planejamento e operação das concessionárias de energia elétrica americanas. Elas necessitam de elementos que possam subsidiar respostas aos questionamentos em processos judiciais e esclarecer dúvidas de seus funcionários e consumidores. Este trabalho apre-

seta duas classes de pesquisas e para cada uma, em ordem de prioridade, uma lista de estudos a serem desenvolvidos, com indicação dos prazos de execução. Entre os estudos, merecem destaque: estudo sobre a saúde ocupacional (1997-2000), dados sobre exposição ocupacional a campos eletromagnéticos (1997-2000), gerenciamento de campo magnético ocupacional e exposição dos trabalhadores (1998-1999).

A International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection publicou em 1998 [34] uma norma que estabelece limites de exposição a campos elétricos e magnéticos de frequências até 300 GHz. No estabelecimento dos limites de exposição, a Comissão reconheceu a necessidade de conciliar opiniões de diferentes especialistas no assunto. Foram considerados diversos artigos científicos no embasamento técnico das questões abordadas. Como a faixa espectral é ampla, são utilizadas diversas grandezas físicas para especificar os critérios dos limites de exposição. São apresentados os limites considerando os seres humanos em situações de trabalho (ocupacional) e como público em geral. São consideradas também exposições simultâneas a campos de múltiplas frequências. Para a frequência de 60 Hz os valores são os seguintes:

Características de Exposição	Campo Elétrico	Densidade de Fluxo Magnético
	kV/m (rms)	mT (rms)
Trabalhador	8,33	0,42
Público em Geral	4,17	0,08

Esta norma substitui a publicada em 1990 [40].

A proposta da Comunidade Européia para os limites de exposição aos campos eletromagnéticos de 0 Hz a 300 GHz, publicada em 1998 [23], tece comentários sobre fontes e tipos de campos eletromagnéticos e efeitos sobre a saúde. É apresentado nesta referência as bases para o estabelecimento dos limites de exposição e eles são apresentados por faixa de frequência. Os valores são válidos para o público em geral. São consideradas também, nesta referência, exposições simultâneas a campos de múltiplas frequências. Para a frequência de 60 Hz os valores são os seguintes: campo elétrico : 4,17 kV/m e densidade de fluxo magnético : 83 μ T.

A referência [60], publicada na Internet, relata a realização de um seminário em Moscou em maio de 1998, organizado pela Organização Mundial da Saúde e a Academia Russa de Ciências Médicas. Teve como objetivo superar lacunas no conhecimento sobre possíveis efeitos adversos a saúde devido à exposição a campos eletromagnéticos. Participaram do seminário 80 cientistas de 14 países.

A referência [46], publicada na Internet em 1998, apresenta um trabalho do EMF RAPID Program, elaborado por cientistas de áreas como engenharia, medicina, física e estatística. Este trabalho representa o primeiro passo na avaliação de risco dos efeitos sobre a saúde da população humana devido à exposição a campo magnético de frequência industrial. Este trabalho aborda os assuntos (i) ocorrência e medição de campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência, (ii) dosimetria interna, (iii) dados biológicos relacionados com a toxicidade de campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência. O trabalho apresenta diversas tabelas, destacando-se a que mostra as características dos instrumentos utilizados nas medições de campos magnéticos citados em diversos artigos; os valores médios do campo magnético em trabalhadores da área elétrica; valores de medições em exposições ocupacionais. Este trabalho apresenta como conclusão que a exposição a campos magnéticos de frequência industrial é possivelmente cancerígeno ao ser humano. Essa classificação segue os procedimentos adotados pela International for Research on Cancer – IARC que são apresentados no anexo A do referido trabalho.

A referência [9], publicada em 1998, é um manual de medição de exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos de frequências até 30 kHz. Esta referência mostra diversos métodos ou protocolos de medição que já apresentaram bons resultados em estudos anteriores. Os protocolos são classificados como métodos completos ou métodos parciais. Os métodos completos são um conjunto de instruções para a estratégia de amostragem, calibração, medição, gerenciamento de dados e cálculo de campos. Os métodos parciais são essencialmente partes do método anterior que enfatiza aspectos importantes da exposição aos campos. Pode-se citar: medições de fontes localizadas, medições de área, medições pessoais, medição das características dos campos. Todos os protocolos são dispostos em tabela de forma padronizada para

facilitar a comparação entre eles. As informações básicas que compõem cada tabela são: **descrição e propósito:** estratégia, data, autor; **estratégia de amostragem:** local, duração, outros dados; **instrumentos:** modelo e fabricante, canais, sensor, faixa de frequência, taxa de amostragem, precisão, tipo de leitura; **características da medição:** valor médio quadrático, valor médio, média geométrica, valor máximo, polarização, unidades. Após cada tabela são apresentadas as vantagens, limitações e aplicações de cada protocolo.

A referência [45], publicada em 1998 na Internet, contém os artigos técnicos apresentados no Proceedings of EMF Engineering Review Symposium, organizado pelo EMF RAPID Program. Os artigos contêm o estado da arte nas questões de engenharia sobre campos elétricos e magnéticos. Participaram do simpósio aproximadamente 70 engenheiros e cientistas. Os seguintes assuntos formaram o centro das discussões:

- resultados de engenharia e como eles podem contribuir para a avaliação de riscos;
- o ambiente dos campos elétricos e magnéticos (com ênfase para o último);
- campos na faixa de frequência de 3 Hz a 3 kHz, com ênfase em 60 Hz;
- considerações de engenharia nas seguintes áreas:
 - parâmetros dos campos;
 - caracterização da exposição pessoal;
 - instrumentos/medição;
 - cálculo de campos;
 - exposições ocupacionais/não residenciais;
 - exposição do público em geral; gerenciamento de campos.

A referência [57], publicada em 1999 na Internet, apresenta o projeto International EMF Project coordenado pela Organização Mundial da Saúde. Este projeto iniciou-se em 1996 e o término está previsto para o ano de 2005. Com uma dotação orçamentária anual de 600.000 dólares, está previsto o desenvolvimento de diversos trabalhos com a colaboração de diversos organismos internacionais.

1.5.1 Resumo da Revisão Bibliográfica

A Tabela 1.2 mostra o resumo de algumas características das principais referências bibliográficas.

TABELA 1.2 – Resumo de algumas características das principais referências bibliográficas

Referências	[1]	[4]	[9]	[17]	[23]	[30]	[32]	[34]	[39]	[42]	[45]	[46]	[47]	[51]	[59]
Tipo	Livro	Artigo científico	Manual	Relatório técnico	Relatório técnico	Livro	Livro	Artigo científico	Livro	Relatório técnico	Relatório técnico	Artigo científico	Relatório técnico	Relatório técnico	Livro
Ano de publicação	1996	1997	1998	1997	1998	1995	1995	1998	1994	1997	1998	1998	1993	1997	1987
Apresenta normas e/ou limites de exposição	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Sim
Apresenta valores de medições	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Informações sobre equipamentos de medição	Não	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Sugere técnicas de medição	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não
Informa sobre efeitos biológicos no ser humano	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
Apresenta temas para novas pesquisas	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Não

1.6 Organização do Trabalho

A dissertação está estruturada em cinco capítulos e um anexo, que são brevemente apresentados aqui.

No presente capítulo, *Introdução*, é mostrado a importância do tema, a motivação para o seu desenvolvimento e a revisão bibliográfica. O conteúdo da dissertação é detalhado.

No capítulo 2, *Avaliação da Exposição a Campo Magnético*, são apresentados os parâmetros importantes na quantificação do campo magnético.

São apresentados e discutidos no capítulo 3, *Limites de Exposição Ocupacional*, os valores contidos em cinco normas, elaboradas nos Estados Unidos, no Reino Unido, na Alemanha, na Comunidade Européia e por uma Comissão Internacional independente.

São apresentados no capítulo 4, *Medições de Campo Magnético*, os valores medidos de campo magnético em uma indústria localizada na região metropolitana de Belo Horizonte e em uma residência próxima a uma linha de transmissão de 138 kV em Belo Horizonte.

É apresentado no capítulo 5, *Conclusões*, uma análise geral do assunto tratado e são também apresentados sugestões de temas para trabalhos futuros.

São apresentados, no anexo A, dois organismos internacionais envolvidos com a pesquisa da influência dos campos elétricos e magnéticos com a saúde do ser humano, bem como os investimentos alocados.

No anexo B são apresentados os conceitos básicos relativos a higiene ocupacional, as radiações eletromagnéticas, o espectro eletromagnético, os campos elétrico e magnético.

No anexo C está a cópia completa do protocolo de medição de campo magnético em frequência industrial em residência, elaborado pelo IEEE.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO A CAMPO MAGNÉTICO

2.1 Introdução

Os assuntos relativos à higiene ocupacional são multidisciplinares.

Isto pode ser visualizado no processo envolvendo a exposição do ser humano a campos eletromagnéticos e os efeitos sobre a sua saúde. A Figura 2.1 mostra uma série de eventos e as disciplinas que são envolvidas para que os mesmos sejam estudados satisfatoriamente.

A série começa com as fontes dos campos elétrico e/ou magnético. Tais fontes incluem as linhas de transmissão/distribuição das concessionárias de energia elétrica, os condutores de aterramento, os equipamentos elétricos industriais, os eletrodomésticos, entre outros.

O próximo item da série refere-se à exposição. Uma pessoa está exposta aos campos elétrico e/ou magnético quando ela trabalha ou vive sob a área de influência das fontes desses campos.

Os campos internos é outro item a ser considerado. Sabe-se que os campos magnéticos no interior do corpo humano são aproximadamente iguais aos campos magnéticos externos, devido a permeabilidade relativa do corpo humano ser praticamente igual à unidade. A intensidade dos campos elétricos interno ao corpo humano é reduzida de seis vezes em relação à intensidade dos campos elétricos externos ao mesmo [45]. Campos magnéticos variáveis no tempo, induzem campos elétricos dentro do corpo. Existem também campos elétricos endógenos no corpo humano. Quando todos esses fatores são combinados com a complexa propriedade elétrica dos tecidos do corpo humano, depara-se com um problema de difícil solução: como medir a exposição devido aos campos internos.

O evento seguinte, a transformação de sinal, representa atualmente o maior desafio na pesquisa sobre campos eletromagnéticos [45]. Como a energia dos campos elétrico e/ou magnético é transformada em sinal para ser reconhecido pelo processo biológico do corpo humano? O corpo humano então age

como um transdutor, ou seja, um dispositivo capaz de mudar um tipo de sinal em outro, com o objetivo de transformar uma forma de energia em outra.

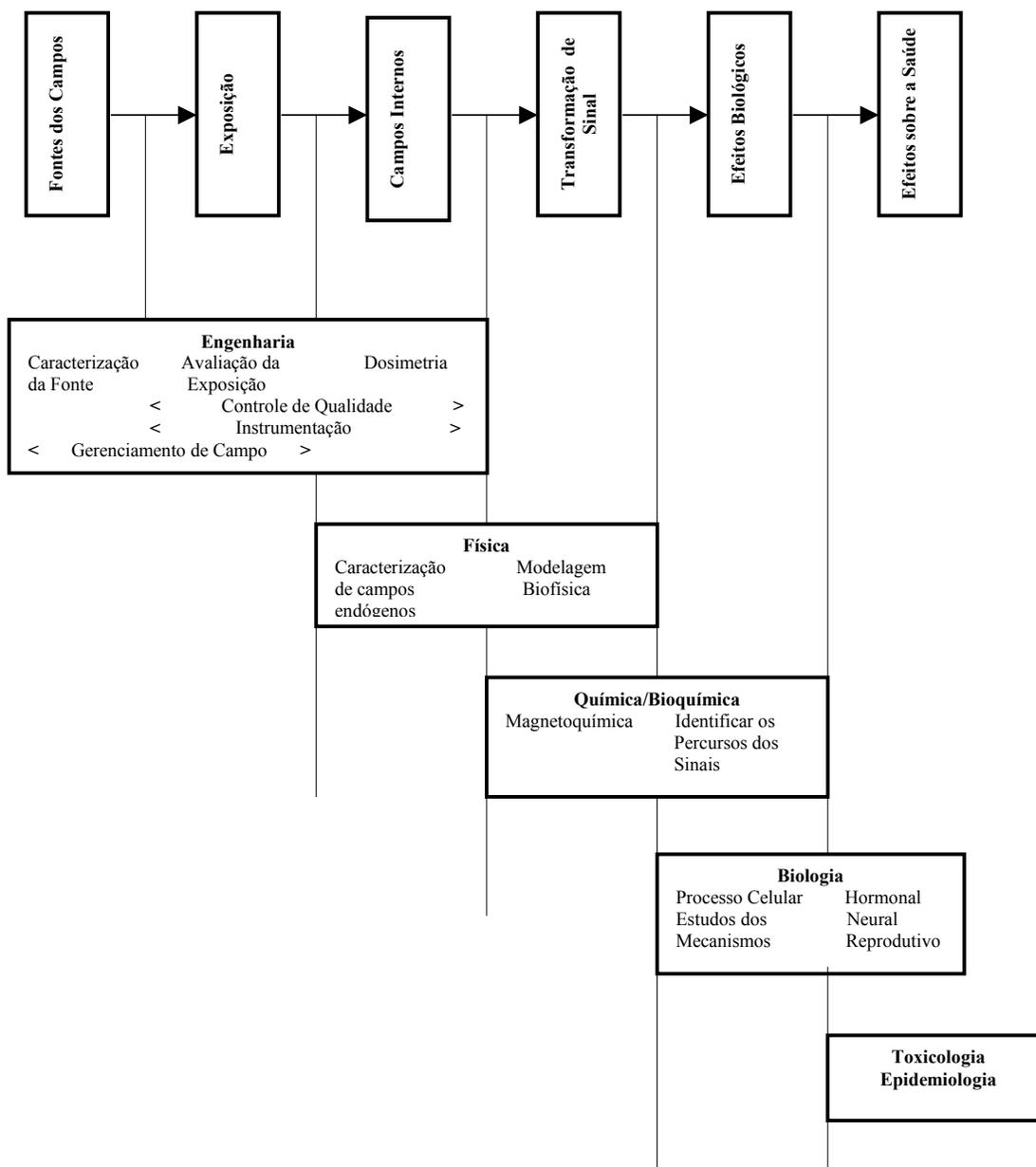


Figura 2.1 Higiene ocupacional – exposição a campos eletromagnéticos eventos e disciplinas envolvidas [45]

Muitas pesquisas têm sido desenvolvidas para identificar os efeitos biológicos devidos à exposição do ser humano aos campos elétricos e/ou magnéticos. Os esforços empregados até em então, não foram suficientes para definir claramente o mecanismo de interação e a relação de dose/resposta envolvidos.

Observando a Figura 2.1, vê-se que os eventos fontes dos campos, exposição e campos internos encontram-se na área de engenharia. A atuação da engenharia inclui estudos sobre a caracterização das fontes dos campos elétricos e magnéticos, a avaliação da exposição, cálculos de campos internos, desenvolvimento e escolha de instrumentos, controle de qualidade de experimentos e gerenciamento dos campos elétricos e magnéticos.

O domínio da física engloba o cálculo dos campos internos e a investigação do mecanismo de interação.

As disciplinas de química e bioquímica se superpõem com a física na área da transformação de sinal e avançam até a área dos efeitos biológicos.

A próxima disciplina, a biologia, avalia e interpreta qualquer efeito de campos eletromagnéticos no desenvolvimento ou função do organismo humano.

Ao final da Figura 2.1, encontram-se as disciplinas de toxicologia e epidemiologia. Pesquisas nessas duas áreas podem fornecer informações específicas sobre a possibilidade de efeitos sobre a saúde humana devido a exposição aos campos eletromagnéticos.

Este capítulo abordará somente os aspectos relativos à área de engenharia, limitando entretanto ao assunto avaliação da exposição do ser humano ao campo magnético de frequência industrial – 60 Hz. A avaliação da exposição refere-se aos valores quantitativos e não incluem as avaliações baseadas em substitutos tais como títulos de funções ou cargos de trabalhadores, tipos de configurações de condutores (aéreos, subterrâneos, embutidos; número de condutores por fase, número de fases).

As avaliações referem-se às medições de exposições atuais e não estimam as exposições passadas. Finalmente são abordadas somente as características do campo magnético externo ao corpo humano.

2.2 Campo Magnético

O comprimento de onda dos campos elétricos e magnéticos na frequência de 60 Hz é igual a 5.000 km, dimensão essa muito superior ao tamanho de qualquer objeto sob influência desses campos. Nesta frequência, os campos elétrico e magnético estão desacoplados e podem ser estudados separadamente.

O campo magnético sempre está presente quando há fluxo de corrente elétrica. O campo magnético estático é formado por fontes de corrente contínua e o campo magnético variável no tempo é produzido por fontes de corrente alternada.

As grandezas vetoriais fundamentais que descrevem o campo magnético são a intensidade de campo **H** medida em ampère por metro (A/m) e a densidade de fluxo magnético **B** medida em tesla (T). Essas grandezas estão relacionadas pela equação 2.1.

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \quad (2.1)$$

Onde μ é a permeabilidade magnética do meio, expressa em henry por metro (H/m).

Observando a equação 2.1 somente uma das variáveis **B** ou **H** precisa ser medida. Na prática, **B** é a grandeza usualmente medida e, no contexto deste trabalho, “campo magnético” refere-se à densidade de fluxo magnético.

As unidades citadas estão referidas ao Sistema Internacional (SI). No sistema de unidades CGS, a densidade de fluxo magnético é expresso em gauss (G) e a intensidade de campo magnético em oersted (Oe).

$$\begin{aligned} 1 \text{ T} &= 10.000 \text{ G} \\ 1 \text{ A/m} &= 1,256 \times 10^{-2} \text{ Oe} \end{aligned}$$

2.2.1 Propriedades do Campo Magnético

O vetor campo magnético \mathbf{B} em qualquer ambiente possui uma forma complexa variável no tempo e no espaço [10], conforme ilustrado na Figura 2.2

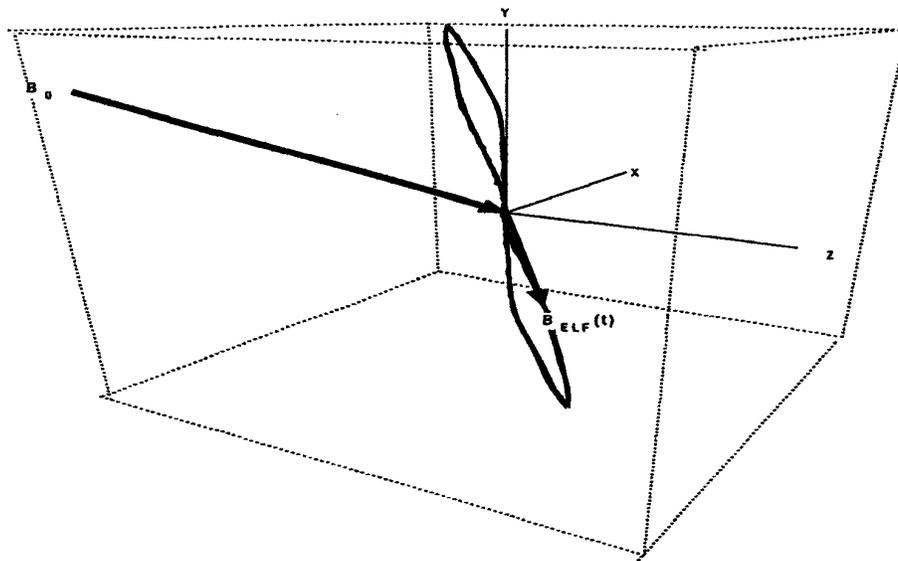


Figura 2.2 Vetor campo magnético estático \mathbf{B}_0 e a forma do vetor campo magnético variável no tempo, medido próximo a um transformador [10]

Para caracterizar completamente um campo magnético é necessário considerar diversas propriedades do mesmo.

Quando se estuda os efeitos biológicos devido a exposição a campo magnético, as pesquisas [10], [17], [45], [53], apontam seis propriedades do campo magnético necessários para a sua caracterização. São eles: intensidade, freqüência, intermitência, transitórios, polarização e atenuação espacial.

A quantificação dessas propriedades, através de medição, reveste-se de significativa importância. O estudo dessas propriedades será feito com base na Figura 2.2.

É apresentada a seguir, a formulação matemática de algumas das propriedades citadas.

Em um ponto do espaço, o vetor campo magnético pode ser representado [10] pela expressão a seguir :

$$\mathbf{B}(t) = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_{ELF}(t) \quad (2.2)$$

Onde:

\mathbf{B}_0 – vetor campo magnético estático,

$\mathbf{B}_{ELF}(t)$ – vetor campo magnético instantâneo variável no tempo.

$$\mathbf{B}_0 = \hat{x}B_{0x} + \hat{y}B_{0y} + \hat{z}B_{0z} \quad (2.3)$$

$$\mathbf{B}_{ELF}(t) = \hat{x}B_x(t) + \hat{y}B_y(t) + \hat{z}B_z(t) \quad (2.4)$$

\hat{x} , \hat{y} e \hat{z} são os vetores unitários do sistema cartesiano de coordenadas.

O módulo ou a intensidade resultante de \mathbf{B}_0 é dado por:

$$B_{0R} = \sqrt{B_{0x}^2 + B_{0y}^2 + B_{0z}^2} \quad (2.5)$$

De maneira análoga, o módulo de $\mathbf{B}_{ELF}(t)$ é:

$$B_{ELFR} = \sqrt{[B_x(t)]^2 + [B_y(t)]^2 + [B_z(t)]^2} \quad (2.6)$$

O valor da intensidade , normalmente refere-se ao valor médio quadrático eficaz (rms) do vetor campo magnético instantâneo variável no tempo [9], [10], [46], dado pela expressão :

$$\mathbf{B}_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} [\mathbf{B}_{\text{ELF}}(t)]^2 dt} \quad (2.7)$$

onde:

$\mathbf{B}_{\text{ELF}}(t)$ definido em (2.4),

T= tempo de integração de um número de períodos da frequência fundamental

A segunda propriedade importante do campo magnético é a frequência de oscilação. A Figura 2.3 mostra formas de ondas periódicas de campo magnético segundo os três eixos ortogonais.

A Figura 2.4 mostra o espectro de frequência do campo magnético, calculado pela Transformada Rápida de Fourier, relativo às formas de onda da Figura 2.3.

A expressão que calcula o valor do campo magnético resultante devido a valores de diferentes frequências [9], [10] é dado :

$$\mathbf{B}_{\text{ELF}} = \sqrt{\sum_{f>0} \mathbf{B}_f^2} \quad (2.8)$$

onde \mathbf{B}_f é a intensidade resultante do vetor campo magnético harmônico (rms) na frequência “f”

$$\mathbf{B}_f = \sqrt{B_{fx}^2 + B_{fy}^2 + B_{fz}^2} \quad (2.9)$$

Considerando todos os valores da Figura 2.4 o valor de \mathbf{B}_{ELF} é igual a 320,77 mG.

As Figuras 2.2 e 2.3 foram extraídas da referência [10] e foram obtidas através de um instrumento denominado “Multiwave ® System II” fabricado pelo Electric Research and Management, Inc., State College, PA – USA. Este instrumento mede frequências na faixa de 0 a 30 kHz, possui sensor para medição simultânea do campo magnético segundo os três eixos ortogonais, medições de harmônicos, armazena as formas de onda em cada eixo para análise posterior.

Os dados obtidos dessa medição são os seguintes:

Tabela 2.1 – Valores da medição referentes às Figuras 2.2 e 2.3

PRINCIPAIS HARMÔNICOS		GRANDEZAS VETORIAIS
Frequência (Hz)	Intensidade (mG)	Campo magnético estático : 314,23 mG
60	291,9	Campo magnético variável no tempo: 320,77 mG
180	114,4	
300	54,6	

Considerando somente os valores de 60 Hz, 180 Hz e 300 Hz, o valor de B_{ELF} é igual a 318,24 mG.

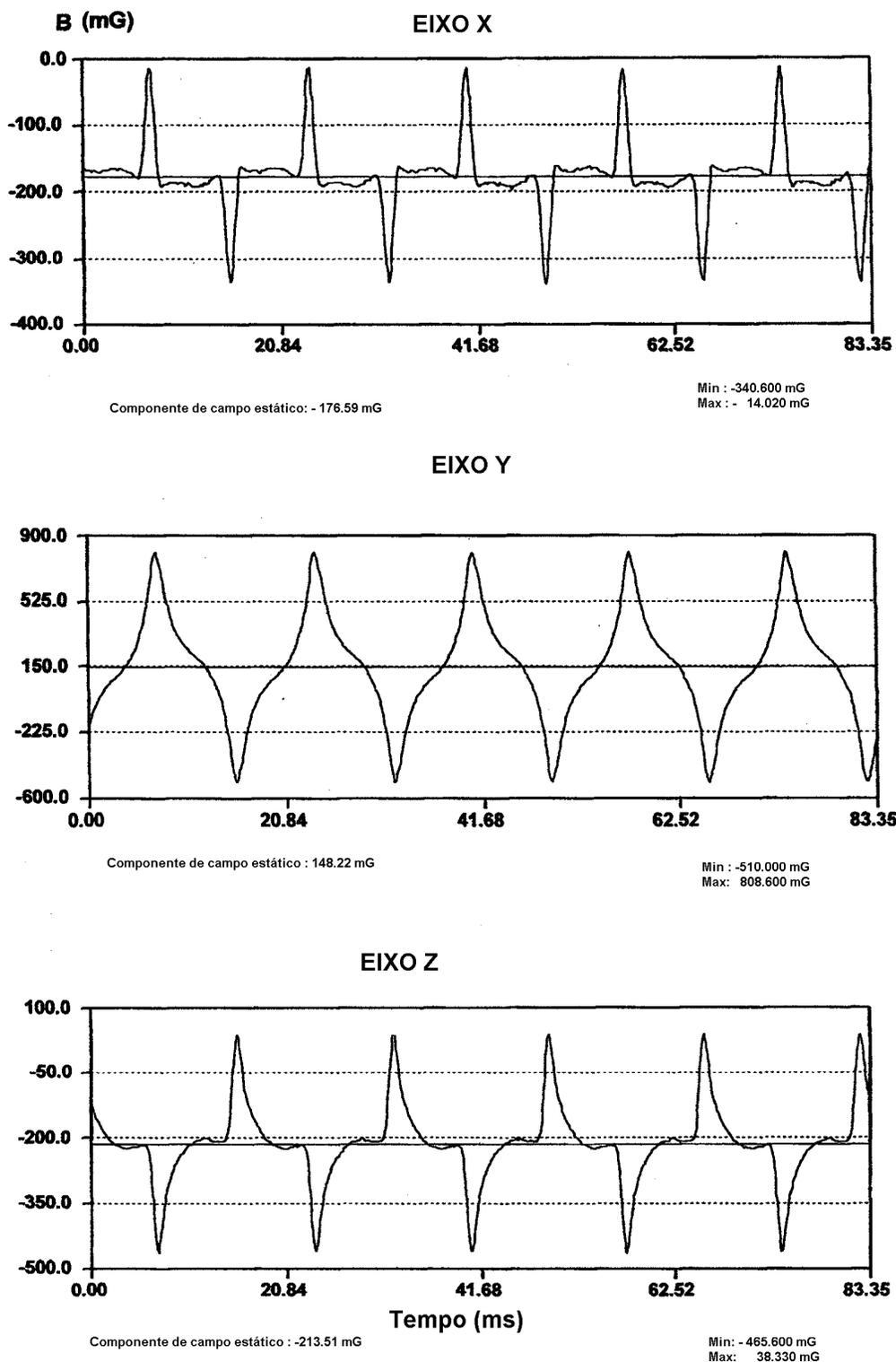


Figura 2.3 – Formas de onda do campo magnético dos três eixos ortogonais (correspondente ao campo mostrado na figura 2.2) [10]

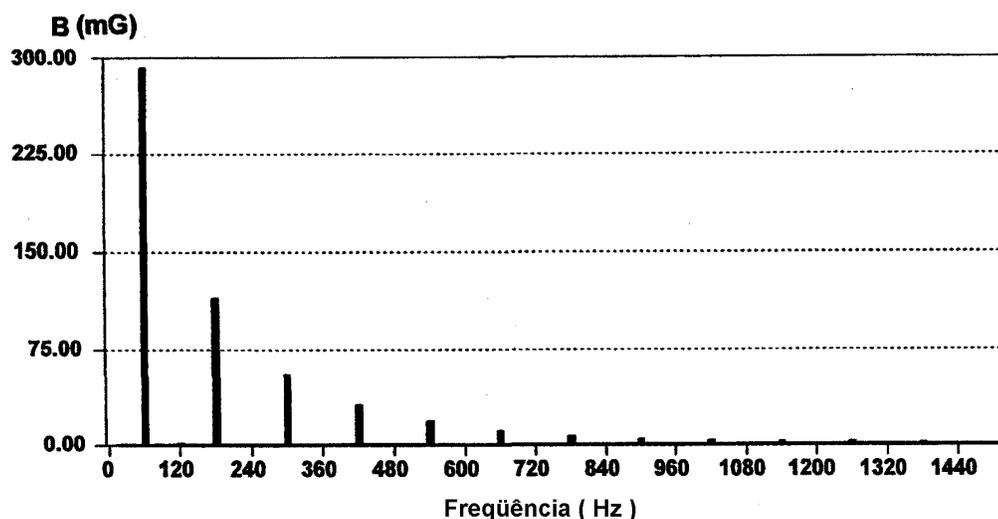


Figura 2.4 – Espectro de freqüência, calculado pela Transformada Rápida de Fourier, do campo magnético relativo às formas de onda da figura 2.3 [10]

Não existe até o presente momento, uma forma de se medir a característica do campo magnético denominada intermitência [17]. Essa característica está associada à condição da existência do campo magnético em um determinado período de tempo e a não existência desse mesmo campo magnético em período de tempo subsequente ao anterior. Esta condição pode ser cíclica.

Transitórios são mudanças não periódicas na intensidade do campo magnético, que podem estar ou não associados com a intermitência. A medição de transitórios de campo magnético é atualmente a mais complexa de todas as características [42].

A atenuação espacial do campo magnético indica como que esse campo reduz de intensidade à medida que se afasta da sua fonte. A atenuação depende das características da fonte e das propriedades físicas do meio. A Figura 2.5 ilustra quatro tipos de fonte de campo magnético e, para cada uma é apresentada a expressão que calcula o módulo do campo magnético em função da distância do observador à fonte.

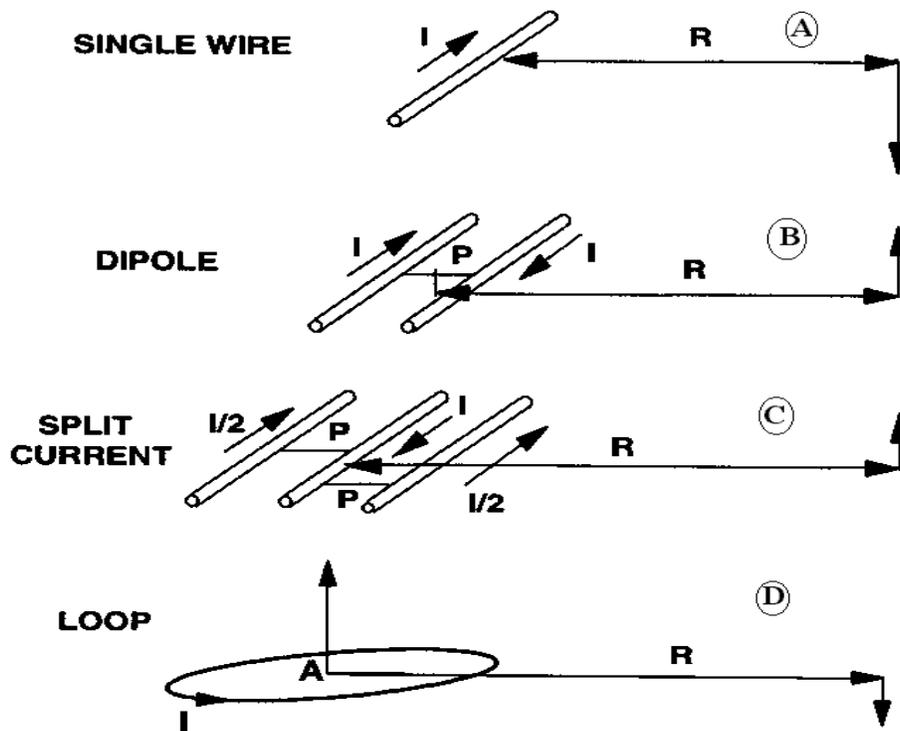


Figura 2.5 Quatro configurações de fonte de campo magnético [45]

A Figura 2.5 A, mostra um condutor transportando uma corrente I , a Figura 2.5 B mostra dois condutores transportando correntes iguais de sentidos opostos, a Figura 2.5 C mostra os condutores externos transportando cada um a metade da corrente do condutor central e em sentido oposto. A figura 2.5 D é o exemplo de corrente circulando em uma bobina, situação semelhante à maioria dos eletrodomésticos.

As expressões abaixo são válidas somente quando R que é a distância do observador à fonte for muito maior que a distância P entre os condutores, ou a área A do loop.

Expressão relativa à Figura 2.5 A:
$$|B| = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (2.10)$$

Expressão relativa à Figura 2.5 B $|B| = \frac{\mu_0 IP}{2\pi R^2}$ (2.11)

Expressão relativa à Figura 2.5 C $|B| = \frac{\mu_0 IP^2}{2\pi R^3}$ (2.12)

Expressão relativa à Figura 2.5 D $|B| = \frac{\mu_0 IA}{2R^3}$ (2.13)

A polarização é uma característica espacial do campo magnético. Para uma forma de onda senoidal pura, a polarização pode ser linear, elíptica ou circular, conforme indicado na Figura 2.6. A expressão abaixo fornece a relação axial (eixo menor e eixo maior da elipse) em valores percentuais da polarização, que varia de zero, para a polarização linear, até 100% para a polarização circular

$$\%a = \frac{B_{\text{eixo menor}}}{B_{\text{eixo maior}}} \times 100\% \quad (2.14)$$

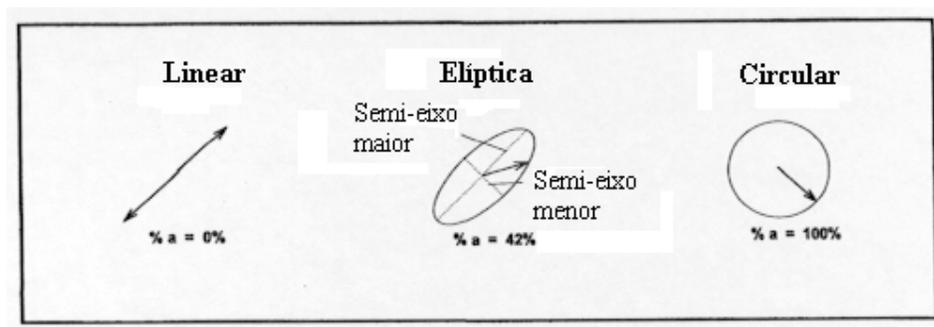


Figura 2.6 – Três tipos de polarização de campo magnético de uma única frequência de onda senoidal [10]

A polarização linear e a circular são os casos extremos de polarização elíptica.

2.3 Exposição

A exposição de um ser humano a um campo magnético pode ser conceituado como se segue [45] : seja um ambiente qualquer onde exista um campo magnético de intensidade variável ou não, função da posição X, Y e Z (coordenadas cartesianas) e do tempo. Neste mesmo ambiente está presente uma pessoa que pode se locomover no seu interior.

Em termos matemáticos, a exposição acumulada desse indivíduo a esse campo é a integral do campo magnético no local onde a pessoa está, considerando o tempo de permanência dele neste local.

$$EA = \int_0^T B[x_B(t), y_B(t), z_B(t), t] dt \quad (2.15)$$

Quais das propriedades citadas no item 2.2.1 são necessárias para caracterizar uma exposição do ser humano a um campo magnético?

Os estudos biológicos examinam quatro possíveis grupos de mecanismos de interação entre o campo magnético e o corpo humano [17],[42] :

- Grupo 1 – Ressonância
- Grupo 2 – Coerência
- Grupo 3 – Momento Magnético
- Grupo 4 – Corrente Induzida

As propriedades do campo magnético que devem ser medidas para dar suporte a cada modelo de mecanismo de interação, estão mostrados na Tabela 2.2

Tabela 2.2 – Mecanismo de iteração e propriedades de campo magnético envolvidos [41]

Grupo	Propriedades
Ressonância	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade do campo magnético estático (eixos x,y,z) • Espectro de frequência do campo magnético variável no tempo e variação temporal • Intensidade do campo magnético variável no tempo para cada frequência de interesse (eixos x,y,z) • Variação espacial dos campos magnéticos estático e variável no tempo
Coerência	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade do campo magnético estático (eixos x,y,z) • Intensidade do campo magnético variável no tempo (eixos x,y,z) • Espectro de frequência do campo magnético variável no tempo e variação temporal • Variação espacial dos campos magnéticos estático e variável no tempo
Momento Magnético	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade do campo magnético variável no tempo (eixos x,y,z) • Polarização do campo magnético variável no tempo • Espectro de frequência do campo magnético variável no tempo e variação temporal/intermitência
Corrente Induzida	<ul style="list-style-type: none"> • Intensidade do campo magnético variável no tempo (eixos x,y,z) • Espectro de frequência do campo magnético variável no tempo • Valor de pico de dB/dt • Variações temporais e espaciais do campo magnético variável no tempo

No âmbito da higiene ocupacional, o Grupo 4 possui maior importância, uma vez que o critério adotado para a obtenção dos limites de exposição do ser humano a campos magnéticos é o da corrente induzida, assunto discutido no Capítulo 3.

2.4 CONCLUSÃO

Apresentou-se neste capítulo a definição de seis propriedades necessárias para a caracterização do campo magnético **B** em 60 Hz: intensidade, frequência, intermitência, transitórios, polarização e atenuação espacial.

Dentre estas propriedades, foram citadas as que são relevantes para caracterizar uma exposição do ser humano a um campo magnético.

CAPÍTULO 3

LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

3.1 Introdução

Apresentou-se no Capítulo 2 as propriedades do campo magnético necessárias para sua avaliação, sendo esta obtida através de medições. Estas medições devem ser executadas seguindo um protocolo previamente estabelecido, em função da finalidade de cada estudo.

Como o foco deste trabalho está relacionado com a higiene ocupacional, se faz necessário comparar os valores encontrados nas medições com os limites de exposição ocupacional.

Apesar deste trabalho considerar somente as avaliações da exposição a campo magnético, foi incluído também neste capítulo os limites relativos ao campo elétrico.

O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir os limites de exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos de frequência industrial, referentes às normas dos seguintes organismos: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [1], International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [34], Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC) [4], National Radiological Protection Board (NRPB) [47], e Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker (DIN/VDE) [4].

3.2 Critério para o Limite de Exposição

Os limites de exposição recomendados nas normas analisadas foram desenvolvidos basicamente para evitar efeitos danosos à saúde do ser humano, produzidos por correntes induzidas no corpo devido aos campos elétricos e magnéticos externo ao mesmo. Esses limites correspondem ao valor da densidade de corrente induzida próximo a 10 mA/m^2 .

As seguintes afirmativas podem ser feitas considerando as faixas de densidades de correntes induzidas e os efeitos biológicos, resultantes da exposição do corpo humano a campos elétrico e magnético de frequência industrial [40] e [59] :

- a) entre 1 e 10 mA/m² : mínimos efeitos biológicos têm sido relatados;
- b) entre 10 e 100 mA/m² : existem efeitos bem definidos, incluindo efeitos nos sistemas visual e nervoso;
- c) entre 100 e 1000 mA/m² : estímulos de excitação de tecidos é observado e, há possibilidade de perigo à saúde;
- d) acima de 1000 mA/m² : podem ocorrer extra sístoles e fibrilação ventricular.

As densidades de correntes endógenas no corpo humano são da ordem de 10 mA/m², podendo alcançar valores superiores, dependendo de certas funções.

Ao elaborarem as normas, os diversos organismos adotaram uma postura de precaução fazendo com que a densidade de corrente induzida no corpo devido a campos elétrico e magnético externo, não excedesse o valor de 10 mA/m².

3.2.1 Modelo Físico para Densidade de Corrente Induzida

Todas as organizações, cujas normas são analisadas neste trabalho, adotam a expressão (3.1) que fornece a densidade de corrente induzida devido a um campo magnético externo [3].

$$\mathbf{J} = \pi k f \sigma \mathbf{B} \quad (3.1)$$

Onde:

J – densidade de corrente induzida (rms) em A/m²;

B – densidade de fluxo magnético (rms) em T;

f – frequência em Hz, do campo magnético senoidal externo;

k – fator de forma, que reflete a localização do tecido sob estudo no corpo humano e em alguns casos a orientação do campo em relação ao corpo humano;

σ - condutividade do tecido em S/m.

As organizações CENELEC, DIN/VDE, ICNIRP e NRPB consideram alguma parte do corpo humano como um modelo de forma circular para estimar a densidade de corrente. Assim **k** na expressão (3.1) torna-se igual a **r** que é o raio de um órgão ou de uma região do corpo humano [3] e [4].

O modelo da forma do corpo humano usado pela ACGIH é um elipsóide de revolução com o fator de forma $\mathbf{k} = 2 (\mathbf{b}^4 \mathbf{x}^2 + \mathbf{a}^4 \mathbf{y}^2)^{0,5} (\mathbf{a}^2 + \mathbf{b}^2)^{-1}$, onde **a** e **b** são os comprimentos em (m) dos semi-eixos do elipsóide, **x** e **y** são as coordenadas do plano **x-y** que é ortogonal ao campo magnético **B** [3] e [4].

Quando há um campo magnético horizontal incidente na parte frontal ou posterior do corpo humano, a densidade de corrente induzida no corpo humano torna-se [4]:

$$\mathbf{J}_{\text{rms}} = 1,2\mathbf{fB}\sigma \quad (3.2)$$

Esta equação considera o elipsóide com as seguintes dimensões: **a** = 0,2 m e **b** = 0,85 m, o que representa um indivíduo de 1,70 m de altura com 40 cm de extensão na região da cintura.

A Tabela 3.1 sintetiza os parâmetros dos modelos físicos para a densidade de corrente induzida devido a campo magnético.

Tabela 3.1 Características das variáveis usadas no modelo físico para densidade de corrente induzida [4]

Organização	Ano de Publicação	Forma do Modelo	Representação do Modelo	Condutividade (S/m)	Dimensões do Modelo (m)
ACGIH [1]	1996	elipsóide	corpo inteiro	0,2	a=0,2 b=0,85
CENELEC [4]	1995	circular	-	Condutividade x raio=0,04 S	
DIN/VDE [4]	1995	circular	cabeça	0,2	raio=0,075
ICNIRP [34]	1998	circular	cabeça	0,2	raio=0,1
NRPB [47]	1993	circular	-	0,2	raio=0,2

3.3 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) [1].

Os limites de exposição representam condições sob as quais acredita-se que a maioria dos trabalhadores possa ser repetidamente exposta sem efeitos adversos à saúde.

O objetivo dos valores limites de exposição é limitar o valor da densidade de corrente induzida no corpo humano abaixo de 10 mA/m^2 , devido aos campos elétrico e magnético de frequência industrial.

3.3.1 Campos Magnéticos

As exposições ocupacionais a campo magnético na faixa de frequência de 1 Hz a 300 Hz não devem exceder ao valor teto dado pela expressão:

$$B = \frac{60}{f} \quad (3.3)$$

onde : B é a intensidade do campo magnético, representado pelo seu valor eficaz (rms) em mT e f é a frequência em Hz.

Para frequências abaixo de 300 Hz, alguns membros do corpo humano podem ser expostos a valores teto mais elevados. Para mãos e pés os valores são aumentados pelo fator igual a 10, braços e pernas pelo fator igual a 5. Assim, em 60Hz, as exposições não devem exceder a 1 mT para todo o corpo humano, 10 mT para as mãos e pés e 5 mT para os braços e pernas.

A ACGIH recomenda o limite de 0,1 mT devido aos campos magnéticos de 50/60 Hz, aos usuários de marca passo.

3.3.2 Campos Elétricos

A ACGIH estabelece o valor limite de exposição em 25 kV/m devido aos campos elétricos variáveis no tempo em frequências até 100 Hz. Esta Norma não atribui valores para os membros do corpo humano.

Quanto aos usuários de marca passo é recomendado não se expor a campos elétricos em frequência de 50/60 Hz maior do que 1 kV/m.

3.4 Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC) [4]

A pré norma ENV 50.166-1, publicada em 1995, apresenta limites de exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos estáticos e variáveis no tempo até a frequência de 10 kHz.

Os limites de exposição são classificados como “Restrições Básicas” e como “Níveis de Referências”.

As restrições básicas são valores teto para densidade de corrente induzida ou valor de campo elétrico que não podem ser excedidos. A restrição básica (rms) da densidade de corrente induzida devido aos campos elétricos e magnéticos é dependente da frequência, apresentando os seguintes valores:

- 40 mA/m² para 0,1Hz < f < 1Hz
- 40/f mA/m² para 1Hz < f < 4Hz
- 10 mA/m² para 4Hz < f < 1kHz
- f/100 mA/m² para 1kHz < f < 10kHz

Se ambos os campos elétrico e magnético de mesma frequência estão presentes, o valor soma da densidade de corrente não deve exceder a restrição básica. Para os campos elétricos que são “predominantemente paralelos ao corpo”, a restrição básica é especificada como:

- 42 kV/m (pico) para $0 < f < 0,1$ Hz
- 30 kV/m (rms) para $f > 0,1$ Hz.

O CENELEC considera os níveis de referências para os campos elétricos e magnéticos como valores limites de exposições a esses campos. Esses valores indicam exposições que resultarão em correntes induzidas no máximo igual às estabelecidas pelas restrições básicas.

3.4.1 Campos Magnéticos

Os níveis de referências (rms), os limites da duração da exposição aos campos magnéticos e os valores de exposição para o corpo inteiro e membros estão mostrados na Tabela 3.2. A restrição básica para o campo magnético em 60 Hz é igual a 10 mA/m^2 .

Tabela 3.2 Nível de referência ocupacional para campos magnéticos [4]

Frequência (f,Hz)	Exposição do Corpo Inteiro (mT)
0 – 0,1	2.000 (200 ^a)
0,1 – 0,23	1.400 (140 ^b)
0,23 – 1	320/f
1 – 4	320/f ²
4 – 1.500	80/f
1.500 – 10.000	0,053

Frequência (f,Hz)	Exposição dos Membros (mT)
0 – 0,1	5.000
0,1 – 0,36	3.500
0,36 – 1.500	1250/f
1.500 – 10.000	0,83

^a Valor médio de exposição igual a 8 horas.

^b Valor médio de exposição igual a 8 horas para 0,1 a 1,5 Hz.

3.4.2 Campos Elétricos

Os níveis de referências (rms) e os tempos de exposição a campos elétricos para o corpo inteiro são mostrados na Tabela 3.3. Para campo elétrico em 60 Hz, o CENELEC considera 10 mA/m² como restrição básica e nível de referência igual a 25 kV/m. Ele também fornece o tempo de exposição (t, horas) no período de 8 horas no qual o ser humano pode estar submetido a um determinado campo elétrico (E, kV/m). Esse tempo é dado por:

$$t \leq 80 / E \quad (3.4)$$

Tabela 3.3 Nível de referência ocupacional para campos elétricos [4]

Frequência (f,Hz)	Nível de Referência (E,kV/m)	Tempo de Exposição (t,h)
0 – 0,1	42	$t < 112/E$
0,1 – 50	30	$t < 80/E$
50 – 150	$1.500/f$	$t < 80/E$
150 – 1.500	$1.500/f$	
1.500 – 10.000	1	

3.4.3 Campos de Diferentes Frequências

O CENELEC prevê a situação onde indivíduos são expostos a campos de diferentes frequências. A frequência que resultar na maior corrente induzida (J_{\max}) ou que tenha a maior intensidade de campo (E_{\max} ou B_{\max}) é inicialmente identificada. As outras frequências a serem avaliadas são aquelas que produzem pelo menos os valores $0,3 J_{\max}$; $0,3 E_{\max}$ ou $0,3 B_{\max}$. A soma das relações das correntes induzidas e suas respectivas restrições básicas não deve exceder a unidade:

$$\sum J_i / J_{BR,i} \leq 1 \quad (3.5)$$

onde J_i é a densidade de corrente induzida na i-ésima frequência e $J_{BR,i}$ é a restrição básica para esta frequência. Por exemplo, na situação onde haja três frequências e três densidades de correntes induzidas associadas, de 3 mA/m^2 em 60 Hz, 2 mA/m^2 em 120 Hz e $0,5 \text{ mA/m}^2$ em 180 Hz. As densidades de correntes induzidas devido a 60 Hz e 120 Hz deverão ser consideradas no somatório, mas o valor da de 180 Hz não.

Com respeito ao nível de referência, a soma das relações entre os campos e seus respectivos níveis de referências, seja para campo elétrico ou magnético em frequências não superiores a 60 Hz, não deverá exceder a unidade:

$$\sum E_i / E_{RL,i} \leq 1 \quad \text{e} \quad \sum B_j / B_{RL,j} \leq 1 \quad (3.6)$$

onde E_i é o valor do campo elétrico na i -ésima frequência, $E_{RL,i}$ é o nível de referência aplicável; B_j e $B_{RL,j}$ são definidos de forma similar. Para frequências entre 60 Hz e 700 Hz, a soma das relações para os campos elétricos e magnéticos combinados não deverá exceder a unidade:

$$\sum E_i / E_{RL,i} + \sum B_j / B_{RL,j} \leq 1 \quad (3.7)$$

3.5 Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker (DIN/VDE) [4]

Esta norma provisória editada em 1995, identifica os limites de exposição como “Níveis Básicos” e “Níveis Derivados”.

Os níveis básicos são os valores permissíveis para as densidades de corrente induzida. Os níveis derivados são os valores dos campos elétricos ou magnéticos que podem ser medidos.

Os níveis derivados são escolhidos de forma a garantir a conformidade dos níveis básicos.

Para os ambientes de trabalho, a DIN/VDE-95 atribui valores de exposição para o corpo inteiro, para diferentes tempos de exposição; o de curta duração que significa 1 hora ou 2 horas por dia e o de longa duração que não é especificado.

3.5.1 Campos Magnéticos

A norma DIN/VDE-95 define os seguintes valores básicos de densidade de corrente induzida em função das frequências dos campos magnéticos associados:

- 10 mA/m² para 0 < f < 1 kHz
- f/1000 mA/m² para 1 kHz < f < 30 kHz.

O nível básico pode exceder do fator 2,5 para exposições que atingem somente alguns membros do corpo humano.

A Tabela 3.4 sintetiza os valores derivados para os campos magnéticos.

Considerando campo magnético em 60 Hz, a norma DIN/VDE-95 apresenta o seguinte valor para o nível básico : 10 mA/m². Os valores dos níveis derivados são os seguintes:

- 3,5 mT até 1 h
- 2,1 mT 1 h < t < 2 h
- 1,1 mT longa duração

Tabela 3.4 Nível derivado ocupacional para exposição a campos magnéticos
[4]

Faixa de Frequência (f,Hz)	Exposição de Longa Duração (mT)	Exposição < 2 horas /dia (mT)	Exposição < 1 hora /dia (mT)
0 – 1	67,9	127,3	212,2
1 – 1.000	67,9 / f	127,3 / f	212,2 / f
1.000 – 30.000	0,0679	0,1273	0,2122

3.5.2 Campos Elétricos

O nível básico da densidade de corrente induzida para os campos elétricos na faixa de frequências entre 0 a 1 kHz é igual a 10 mA/m². O nível básico para campos entre 1 kHz e 30 kHz é definido pela expressão: f/1000 mA/m². Esses níveis básicos podem exceder pelo fator igual a 2,5 quando somente alguns membros do corpo ficam exposto aos campos elétricos. Esta norma também permite exposições até 2,5 vezes o valor dos níveis derivados para os membros do corpo humano.

A Tabela 3.5 mostra os valores dos níveis derivados para os campos elétricos. Para os ambientes em locais de trabalho, os valores dos níveis derivados em 60 Hz são os seguintes:

- 30 kV/m para exposições até 2 horas por dia
- 18 kV/m para exposições de longa duração.

Tabela 3.5 Nível derivado ocupacional para exposição a campos elétricos [4]

Faixa de Frequência (f,Hz)	Exposição de Longa Duração (kV/m)
0 – 35,53	30
35,53 – 1.000	1.066 / f
1.000 – 30.000	1.066
Faixa de Frequência (f,Hz)	Exposição ≤ 2 horas /dia (kV/m)
0 – 66,67	30
66,67 – 1.000	2.000 / f
1.000 – 30.000	2
Faixa de Frequência (f,Hz)	Exposição ≤ 1 hora /dia (kV/m)
0 – 111,1	30
111,1 – 1.000	3.333 / f
1.000 – 30.000	3,333

3.5.3 Campos de Diferentes Frequências

A norma DIN/VDE-95 inclui recomendações para avaliar situações onde estão presentes campos de múltiplas frequências.

Em relação aos níveis derivados as seguintes expressões devem ser observadas:

$$\sum E_i / E_{DL} \leq 1 \quad \text{e} \quad \sum B_i / B_{DL} \leq 1 \quad (3.8)$$

onde E_i e B_i são as intensidade de campos elétricos e magnéticos para i-ésima frequência, E_{DL} e B_{DL} são seus respectivos campos derivados.

A frequência na qual ocorre o campo mais intenso (E_{\max} ou B_{\max}) deve ser identificado primeiramente. As demais frequências são incluídas no somatório se as intensidade de seus campos atingem pelo menos $0,3 E_{\max}$ ou $0,3 B_{\max}$.

3.6 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [34]

Por ocasião do oitavo congresso internacional do IRPA em Montreal, Canadá em 1992, surgiu uma nova organização científica independente: a International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), que se estabeleceu como sucessora do IRPA/INIRC.

A primeira norma publicada pelo então IRPA/INIRC sobre os limites de exposição a campos elétricos e magnéticos em 50/60 Hz foi editada em 1990. Esta norma foi revista e em abril de 1998 foi publicada a versão atualizada, que é aqui analisada. Esta nova norma considera os campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo até a frequência de 300 GHz.

Ela apresenta diferentes valores de limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos para a classe trabalhadora e a classe do público em geral.

A população trabalhadora consiste de pessoas adultas que geralmente são expostas aos campos elétricos e magnéticos sob condições conhecidas, são treinadas e cientes dos riscos existentes no ambiente do labor. Já as pessoas que compõem a outra classe, a do público em geral, são indivíduos de todas as idades, com problemas de saúde diversos, não conhecedores de risco e sem treinamento. Assim, os indivíduos deste último grupo, não podem se precaverem para minimizar ou evitar a exposição aos campos elétricos e magnéticos.

A ICNIRP adota a terminologia de “Restrição Básica” e “Nível de Referência” para o estabelecimento dos limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos.

A restrição básica não deve ser excedida para garantir proteção contra efeitos adversos à saúde. A Tabela 3.6 indica os valores da restrição básica para os campos elétricos e magnéticos em função das frequências.

Tabela 3.6 Restrição básica para campos elétricos e magnéticos variáveis com o tempo, para frequências até 1 kHz ^a [34]

Classe Exposta	Faixa de Frequência	Densidade de Corrente para cabeça e tronco (mA/m²) rms
Trabalhadores	Até 1 Hz	40
	1 – 4 Hz	40 / f
	4 Hz – 1 kHz	10
Público em Geral	Até 1 Hz	8
	1 – 4 Hz	8 / f
	4 Hz – 1 kHz	2

^a Notas:

1. A tabela original apresentada na referência [34], mostra a faixa de frequência até 10 GHz. Para estas frequências são indicadas outras grandezas físicas como restrições básicas.
2. f é a frequência em Hz.

Os níveis de referência são fornecidos para serem comparados com os valores medidos de campos elétricos (E, V/m), intensidade de campos magnéticos (H, A/m) e densidades de fluxos magnéticos (B, μ T). Os valores dos níveis de referência mostrados na Tabela 3.7 asseguram conformidade com as restrições básicas indicadas na Tabela 3.6.

Tabela 3.7 Nível de referência para exposição aos campos elétrico e magnético variáveis com o tempo, para frequências até 0,8 kHz (rms) ^a [34]

Classe Exposta	Faixa de Frequência	Campo Elétrico (E , V/m)	Intensidade de Campo Magnético (H , A/m)	Densidade de Fluxo Magnético (B , μT)
Trabalhadores	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 – 0,8 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$
Público em Geral	Até 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
	1 – 8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
	8 – 25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$
	0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$

^a Notas

1 A tabela original apresentada na referência [34], mostra a faixa de frequência até 300 GHz. Para estas frequências são indicadas outras grandezas físicas como níveis de referência

2 O valor de f é na mesma unidade indicada na coluna faixa de frequência.

3.6.1 Campos de Diferentes Frequências

A norma do ICNIRP estabelece que é importante determinar em situações de exposição a campos de múltiplas frequências, se os efeitos dessa exposição são cumulativos.

A densidade de corrente induzida deve atender a seguinte expressão:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_i}{J_{L,i}} \leq 1 \quad (3.9)$$

onde

J_i = densidade de corrente na frequência i ,

$J_{L,i}$ = restrição da densidade de corrente na frequência i , dada na Tabela 3.6

As seguintes expressões aplicam-se aos campos elétricos e magnéticos:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} \leq 1 \quad \text{e} \quad \sum_{i=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} \leq 1 \quad (3.10)$$

onde:

E_i = campo elétrico na frequência i ;

$E_{L,i}$ = nível de referência do campo elétrico dado na Tabela 3.7;

H_j = campo magnético na frequência j ;

$H_{L,j}$ = nível de referência do campo magnético dado na Tabela 3.7.

3.7 National Radiological Protection Board (NRPB) [47]

A norma do NRPB publicada em 1993, estabelece limites de exposição a campos elétricos e magnéticos em frequências de 0 a 300 GHz.

Esta norma inclui as categorias de limites “Restrição Básica” e “Nível de Investigação” semelhantes aos apresentados nas normas do CENELEC, DIN/VDE-95 e ICNIRP.

As restrições à exposição aos campos elétricos e magnéticos são baseadas na possibilidade dos efeitos no sistema nervoso devido à densidade de corrente induzida na cabeça, pescoço e tronco, como também no incômodo da presença de cargas elétricas na superfície do corpo humano.

Os valores dos níveis de investigação não são limites de exposição, mas possuem o propósito de servir como referência para os valores das grandezas medidas (campo elétrico, campo magnético, densidade de fluxo magnético), verificando assim se estão em conformidade com os valores das restrições básicas.

Os valores apresentados nesta norma aplicam-se igualmente à classe dos trabalhadores e a do público em geral.

3.7.1 Campos Magnéticos

Os valores das restrições básicas e níveis de investigação para os campos magnéticos de frequências entre 0 e 100 kHz são mostradas nas Tabelas 3.8 e 3.9 respectivamente.

Para campos magnéticos em 60 Hz, a restrição básica é igual a 10 mA/m² e o nível de investigação é 1,33 mT.

Tabela 3.8 Restrição básica para exposição a campos elétricos e magnéticos ^a
[47]

Frequência	Restrição Básica	Comentário
0 Hz – 1 Hz	200 mT	Média superior a 24 horas de exposição
	2 T	Valor máximo
	5 T	Valor máximo para membros do corpo
	100 mA/m ²	-
1 Hz – 10 Hz	100/f mA/m ²	-
10 Hz – 1 kHz	10 mA/m ²	-
1 kHz – 100 kHz	f/100 mA/m ²	-

^a Notas

1 Todos os valores de restrição básica de campos variáveis com o tempo são expressos em rms;

2 A frequência f em Hz;

3 Valores aplicáveis ao pescoço, cabeça e tronco.

Tabela 3.9 Nível de investigação para exposição a campos magnéticos ^a [47]

Faixa de Frequência	Intensidade de Campo Magnético (H, A/m)	Densidade de Fluxo Magnético (B , μT)
< 0,4 Hz	160.000	200.000
0,4 Hz – 1 kHz	64.000/f(Hz)	80.000/f(Hz)
1 kHz – 535 kHz	64	80
535 kHz – 12 MHz	18/f ² (MHz)	23/f ² (MHz)

^a Notas

1 Todos os valores dos níveis de investigação estão em rms;

2 A unidade indicada entre parênteses é da frequência f.

3.7.2 Campos Elétricos

As restrições básicas e os níveis de investigação para campos elétricos em frequências de 0 a 100 kHz estão mostradas nas Tabelas 3.8 e 3.10. Para campos elétricos em 60 Hz, a restrição básica é igual a 10 mA/m² e o nível de investigação é igual a 10 kV/m.

Tabela 3.10 Nível de investigação para exposição a campos elétricos [47]

Frequência (f, Hz)	Campo Elétrico (kV/m) rms
< 24	25
24 – 600	600/f
600 – 1.000	1

3.7.3 Campos de Diferentes Frequências

Sob condições de exposição simultânea a campos de diferentes frequências, a presente norma recomenda que deve ser avaliado os efeitos aditivos, utilizando a expressão:

$$\sum_{0 \text{ Hz}}^{12 \text{ MHz}} R_i \leq 1 \quad (3.11)$$

onde R_i é a relação do valor medido e o respectivo nível de investigação na frequência i .

Considera-se aplicável separadamente a campos elétricos e magnéticos, embora a NRPB nada comente.

3.8 Discussão

3.8.1 Terminologia

Na especificação dos limites de exposição ocupacional, as organizações adotam os seguintes termos:

- ACGIH : valor teto;
- CENELEC : restrição básica e nível de referência;
- DIN/VDE : nível básico e nível derivado;
- ICNIRP : restrição básica e nível de referência;
- NRPB : restrição básica e nível de investigação.

O termo utilizado pela ACGIH difere completamente dos demais adotados pelas outras organizações, uma vez que o seu significado, como já explicado, não permite que o valor da exposição ultrapasse o limite estipulado, mesmo que momentaneamente.

A terminologia utilizada pela CENELEC, DIN/VDE e ICNIRP difere na forma escrita, mas coincide na essência.

Já o termo “nível de investigação” usado pelo NRPB não significa limite de exposição. Este termo possui o propósito de servir como referência para o valor da grandeza medida (campo elétrico, campo magnético e densidade de fluxo magnético), verificando se os mesmos estão em conformidade com o valor da restrição básica.

3.8.2 Duração da Exposição

Quanto à duração da exposição, existem limites relativos a dia de trabalho e de curta duração.

A norma da CENELEC define o tempo de exposição de curta duração para campos elétricos como sendo $t \leq 80 E^{-1}$ onde t é o tempo em horas e E em kV/m.

Não está suficientemente claro, nas diversas normas, se o termo “exposição de curta duração” refere-se a uma exposição contínua de um único evento, por exemplo de 2 horas por dia, ou se é o somatório das exposições de pequenos intervalos de tempo durante uma jornada diária de trabalho.

A duração da exposição para 1 dia de trabalho também não é bem definida. A ACGIH estipula valores - teto, para exposições a campos elétricos e magnéticos, abaixo dos quais todos os trabalhadores podem estar “repetidamente expostos dia após dia”. A norma da CENELEC define a duração da exposição de campos elétricos e magnéticos estáticos, mas não o faz para os campos variáveis com o tempo. As normas da ICNIRP e NRPB também não estabelecem o tempo de duração da exposição para os seus limites.

Há uma clara necessidade de melhor definir a duração da exposição para facilitar a utilização dos limites de exposição ocupacional [4].

3.8.3 Nível de Exposição

Nos itens anteriores deste capítulo, foram apresentados os limites numéricos para exposição aos campos elétricos e magnéticos a que o ser humano pode ficar submetido, sem efeito adverso à sua saúde, segundo as organizações ACGIH, CENELEC, DIN/VDE, ICNIRP e NRPB.

Todas as normas estudadas adotam o mesmo valor limite de densidade de corrente induzida, 10 mA/m^2 , como critério para o estabelecimento dos limites de exposição ocupacional. Entretanto elas apresentam diferenças na escolha de parâmetros, terminologia e abordagem da definição da escolha de modelos.

As Tabelas 3.11 e 3.12 apresentam os resumos dos valores limites de exposição ocupacional aos campos elétrico e magnético na frequência de 60 Hz. Essas tabelas apresentam também outras características inerentes a cada norma, para efeito comparativo.

Tabela 3.11 Limites de exposição ocupacional ao campo elétrico – 60 Hz

Organização	Ano de Publicação	Valor teto de Exposição ^a (kV/m)	Limite de Exposição para 1 dia de Trabalho (kV/m)	Limite de Exposição de Curta Duração (kV/m)	Duração da Exposição de Curta Duração	Limite para Usuário de Marca Passo (kV/m)	Previsão de Múltiplas Frequências
ACGIH [1]	1996	25	—	—	—	1	Não
CENELEC [4]	1995	— ^b	—	25	— ^c	—	Sim
DIN/VDE [4]	1995	— ^b	18	30 30	1 h/dia 2 h/dia	—	Sim
ICNIRP [34]	1998	— ^b	8,33 ^d 4,17 ^e	—	—	—	Sim
NRPB [47]	1993	— ^b	10	—	—	—	Sim

^a Valor teto significa que o valor da exposição não pode ser excedido, mesmo que instantaneamente.

^b O valor da densidade de corrente induzida igual a 10 mA/m² é adotado pelo CENELEC, DIN/VDE e NRPB como valor teto.

^c A duração da exposição é limitada por $E_{\text{campo(rms)}} \times h \leq 80$.

^d Valor válido para trabalhador.

^e Valor válido para o público em geral

Tabela 3.12 Limites de exposição ocupacional ao campo magnético – 60 Hz

Organização	Ano de Publicação	Valor teto De Exposição (mT)	Limite de Exposição para 1 dia de Trabalho (mT)	Limite de Exposição de Curta Duração (mT)	Duração da Exposição de Curta Duração	Limite de Exposição para Membros do Corpo (mT)	Limite para Usuário de Marca Passo (mT)	Previsão de Múltiplas Freqüências
ACGIH [1]	1996	1,0	—	—	—	5 ^c	0,1	Não
CENELEC [4]	1995	— ^b	1,3	—	—	21	—	Sim
DIN/VDE [4]	1995	— ^b	1,1	2,1 3,5	2 h/dia 1 h/dia	— ^d	—	Sim
ICNIRP [34]	1998	—	0,4 ^e 0,08 ^f	—	—	—	—	Sim
NRPB [47]	1993	— ^b	1,3	—	—	—	—	Sim

^a Valor teto significa que o valor da exposição não pode ser excedido, mesmo que instantaneamente.

^b O valor da densidade de corrente induzida igual a 10 mA/m² é adotado pelo CENELEC, DIN/VDE E NRPB como valor teto.

^c 10 mT para as mãos e pés, 5 mT para braços e pernas.

^d Os limites de exposição são 2,5 vezes o valor teto, 1 dia de trabalho e o de curta duração.

^e Valor válido para trabalhador

^f Valor válido para o público em geral

Utilizando-se as expressões (3.1) e (3.2) e os valores da Tabela 3.1 é possível calcular o valor do campo magnético externo para produzir 10 mA/m^2 de densidade de corrente induzida. Considerando também os valores da Tabela 3.12, calcula-se a densidade de corrente induzida no corpo humano. A Tabela 3.13 sintetiza essas informações.

Tabela 3.13 Densidade de corrente induzida para os limites de exposição ocupacional a campos magnéticos de 60 Hz

Organização	Limite de Exposição (mT)	Campo Magnético em (mT) para produzir 10 mA/m^2	Densidade de Corrente Induzida (mA/m^2) correspondente aos Limites de Exposição
ACGIH [1]	1 ^a	0,69	14
CENELEC [4]	1,3	1,3	10
DIN/VDE [4]	1,1	3,5	3,1
	2,1 ^b	3,5	6,0
	3,5 ^b	3,5	10
ICNIRP [34]	0,42	2,65	1,58
	0,08 ^c	0,53 ^c	0,30
NRPB [47]	1,3	1,3	10

^a Valor teto para exposição de todo o corpo ao campo magnético de 60 Hz.

^b Exposição de curta duração.

^c Limite de exposição para o público em geral. A restrição básica é igual a uma densidade de corrente induzida de 2 mA/m^2 .

3.8.4 Fatores de Segurança

Fatores de segurança são rotineiramente utilizados para estabelecer níveis de segurança de exposição abaixo dos valores observados para os efeitos.

Os diversos valores limites de exposição ocupacional apresentados nas normas estudadas, não explicitam os fatores de segurança. Uma exceção aparente é a ICNIRP que estipula um fator de segurança igual a 5 na especificação das densidades de correntes induzidas para exposições aos campos elétricos e

magnéticos dos trabalhadores e público em geral. O valor para o primeiro é igual a 10 mA/m^2 e para o segundo 2 mA/m^2 .

A referência [4] apresenta valores que são limiares dos estímulos cardíacos e da fibrilação ventricular como função da densidade de corrente no coração. A Tabela 3.14 apresenta esses valores.

Tabela 3.14 Limiar da densidade de corrente para estímulo cardíaco e fibrilação ventricular [4]

Efeito	Densidade de Corrente (mA/m²)
Limiar do estímulo cardíaco	
Estimado	1.000
Teórico	1.450
Limiar de fibrilação ventricular	
Médio	5.000
Mínimo	2.000

O menor valor mostrado na Tabela 3.14 é igual a 1.000 mA/m^2 que corresponde a um limiar estimado para o estímulo cardíaco. Considerando a relação entre este valor e o da densidade de corrente induzida correspondente aos limites de exposição, encontra-se os fatores de segurança implícito para cada norma. A Tabela 3.15 mostra esses fatores .

Tabela 3.15 Fator de segurança implícito nos limites de exposição ocupacional

Organização	Limite da Densidade de Corrente Induzida (mA/m ²)	Densidade de Corrente Induzida (mA/m ²) Correspondente aos Limites de Exposição	Fator de Segurança implícito (1.000 mA/m ² ÷ densidade de corrente induzida correspondente aos limites de exposição)
ACGIH [1]	10	14	70
CENELEC [4]	10	10	100
DIN/VDE [4]	10	3,1	323
		6,0	167
		10	100
ICNIRP [34]	10	1,58	633
		0,30	3.333
NRPB [47]	10	10	100

3.9 Conclusão

Foram apresentados e discutidos neste capítulo os limites de exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos de frequência industrial referentes às normas dos seguintes organismos: ACGIH, ICNIRP, CENELEC, NRPB e DIN/VDE.

Apesar das diferentes terminologias empregadas pelos órgãos, das considerações distintas quanto à duração da exposição aos campos elétricos e magnéticos; existe um consenso muito importante que é a indicação de valores limites relativo à exposição ocupacional.

CAPÍTULO 4

MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO

4.1 Introdução

Nos capítulos anteriores foram abordados os assuntos relativos à caracterização de campos magnéticos e os seus limites de exposição ocupacional.

Este capítulo apresenta as medições de campo magnético em um setor de uma indústria de auto peças e em uma residência próxima a uma linha de transmissão de 138 kV.

Os objetivos básicos dessas medições foram: (i) empregar os protocolos de medição para a caracterização do campo magnético; (ii) conhecer a intensidade do campo magnético nos dois ambientes citados; e (iii) comparar os valores encontrados com os limites de exposição apresentados no capítulo 3.

4.2 Protocolos de Medição Utilizados

Protocolo é um processo que indica todas as etapas necessárias para a obtenção de uma seqüência de medições, especificando todos os seus detalhes pertinentes [17].

O ideal é que se obtenha as informações completas sobre o campo magnético, de maneira que a exposição de uma pessoa a esse campo possa ser perfeitamente modelada. Entretanto, dados completos não são disponíveis, uma vez que a lista dos parâmetros do campo magnético, pode ser expandida, como já salientado no item 2.2.1, aumentando o custo e a complexidade das medições e a análise dos dados coletados.

Além disso, até o presente não existe um equipamento único capaz de medir todos os parâmetros do campo magnético [42].

Também não existe um único protocolo capaz de apresentar todas as informações de uma avaliação de exposição a um campo magnético. Estratégias diferentes podem ser empregadas, acarretando protocolos diferentes. As se-

guintes estratégias podem ser citadas como exemplos: medição instantânea, medição pessoal e medição de área.

Medição instantânea, também chamada de “leitura direta” ou “tempo real” é uma estratégia utilizada quando se deseja obter informações preliminares sobre a intensidade de campo magnético em um determinado horário e local específico.

Quando se deseja conhecer a exposição de uma pessoa a um campo magnético, durante uma tarefa específica, uma jornada de trabalho, um dia inteiro, durante uma semana, entre outros, utiliza-se a estratégia da medição pessoal. Neste caso o instrumento de medida deverá ser instalado nas vestes dessa pessoa.

A medição de área, é empregada para se conhecer os níveis do campo magnético em um local específico, durante um determinado período de tempo. O instrumento de medição neste caso, deverá ser posicionado no local desejado.

Neste trabalho, são utilizados dois protocolos diferentes. Um relativo às medições do campo magnético em uma residência, cuja estratégia foi a medição instantânea, conforme consta na referência [36]. Esta referência está apresentada no Anexo C. O outro protocolo adotado [42] trata-se de medição de área e foi empregado no levantamento do campo magnético de um setor de uma indústria de auto peças. Este protocolo, por ser bastante extenso não está anexado a este trabalho.

4.3 Medição de Campo Magnético em uma Residência

Adotou-se, como já mencionado, o protocolo indicado em [36]. O objetivo deste não inclui a caracterização das variações espaciais, temporais, polarização e harmônicos do campo magnético presente. As medições foram efetuadas no dia 17 de setembro de 1999, iniciadas às 10:00 horas.

4.3.1 Caracterização da residência

As medições foram efetuadas em um apartamento localizado no primeiro andar de um edifício de quatro pavimentos. Este edifício está localizado no bairro Gutierrez em Belo Horizonte – MG. Paralelamente à edificação e a uma distância de 40 metros existe uma torre de estrutura metálica de uma linha de transmissão, com circuito duplo, operando na tensão de 138 kV.

O croqui dos locais das medições do campo magnético no apartamento, e o posicionamento da torre e da linha de transmissão em relação ao mesmo, está mostrado na Figura 4.1.

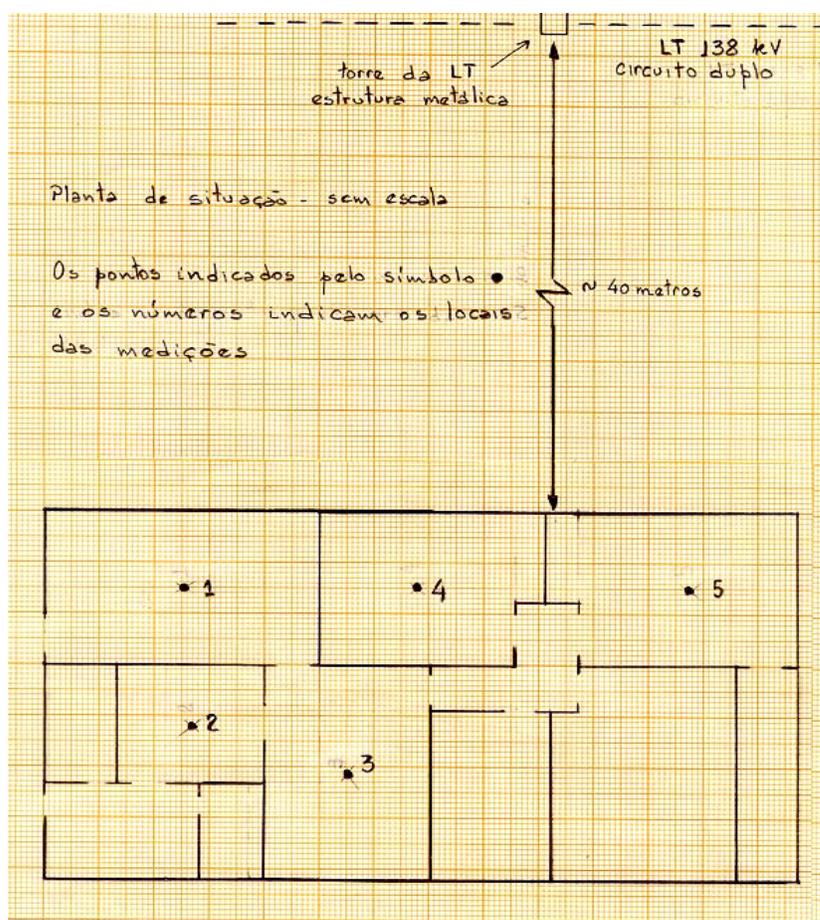


Figura 4.1 Planta de situação dos locais de medição do campo magnético no apartamento

4.3.2 Procedimentos adotados

Todas as lâmpadas e eletrodomésticos permaneceram no estado em que foram encontrados (operando ou desligados).

Todas as medições foram efetuadas a 1 metro do piso e no centro de cada cômodo, evitando assim a influência significativa do campo magnético gerado pelos eletrodomésticos.

Todas as medições foram do tipo instantânea.

Os locais das medições foram escolhidos em função do uso e permanência mais freqüente pelos seus moradores.

A componente **z** do campo magnético foi considerada na direção vertical e as componentes **x** e **y** escolhidas arbitrariamente no plano horizontal.

4.3.3 Equipamento utilizado

Fabricante: Holaday Industries, Inc. [31]

Modelo: HI-3604

Sensor: de um eixo, diâmetro de 16,5 cm,

Faixa de medição: 0,1 mG – 20,0 G.

Tipo de detetor: rms verdadeiro.

Não foi possível obter a data da calibração do equipamento.

4.3.4 Valores encontrados

A Tabela 4.1 mostra os valores obtidos nas medições efetuadas na residência citada acima.

Tabela 4.1 Valores das medições de campo magnético obtidos na residência

pesquisada

MEDIÇÃO Nº	B _x (mG)	B _y (mG)	B _z (mG)	B _{resultante} (mG)	B _{resultante} (μT)	LOCAL
1	0,75	0,50	2,49	2,65	0,27	Sala de Visita
2	1,88	1,26	0,71	2,37	0,24	Cozinha
3	1,35	0,69	1,68	2,26	0,23	Sala de Jantar
4	0,91	0,56	3,00	3,18	0,32	Quarto 1
5	0,69	0,46	3,13	3,24	0,32	Quarto 2

4.3.5 Análise dos resultados

Os valores obtidos e mostrados na Tabela 4.1 são válidos apenas para as situações encontradas no momento em que foram realizadas as medições. Estes valores não podem ser considerados como representativos para outras residências em condições semelhantes.

O maior valor do campo magnético resultante encontrado foi de 0,32 μT (quarto 1 e quarto 2), número este bem inferior ao valor teto de exposição ocupacional indicado pela ACGIH que é igual a 1,0 mT.

4.4 Medição de Campo Magnético em uma Indústria

Adotou-se, como já mencionado, o protocolo indicado em [42]. O objetivo deste inclui a caracterização das variações espaciais, temporais, polarização e harmônicos do campo magnético presente. Porém, como o equipamento disponível utilizado não possui os recursos desejados, não foi possível obter esses parâmetros do campo magnético na área selecionada. Todavia, essa limitação do aparelho não invalida o levantamento pois com o que foi coletado, foi possível calcular o campo resultante em cada posto de trabalho, num determinado momento.

Todas as medições foram do tipo instantânea e obtidas no dia 21 de setembro de 1999 na parte da manhã.

4.4.1 Caracterização da Indústria

A indústria está localizada na região metropolitana de Belo Horizonte-MG, produz alguns tipos de componentes automotivos.

A indústria ocupa um terreno de 43.600 m², sendo a área construída igual a 7.100 m². Ao todo, são quatro galpões que abrigam os seguintes setores de produção: prensas, manutenção, engenharia experimental, expedição, engenharia de qualidade, engenharia do produto, almoxarifado e injetoras. Os setores administrativos ocupam dois prédios distintos dos galpões. As edificações foram construídas em 1985.

A indústria é alimentada eletricamente em 13,8 kV, possui uma subestação abrigada com 3 transformadores, 1 de 150 kVA e dois de 300 kVA cada. Todos os motores dos setores de produção são alimentados em 380 V.

4.4.2 Procedimentos adotados

Foi selecionado o setor produtivo onde estão localizadas as injetoras. A escolha desta área foi devido ao fato de que cada injetora é operada por um funcionário que permanece junto à máquina durante toda a jornada de trabalho.

Os métodos de identificação das fontes de campo magnético foram, o visual e o de coleta de dados junto ao setor de manutenção elétrica. O primeiro indicou a presença dos motores elétricos das injetoras e a subestação próxima às injetoras números 18, 20 e 21. O setor de manutenção elétrica não adicionou nenhuma informação além das obtidas pelo método visual.

No instante das medições, as máquinas de números 5,6,7,12,26,31,32,33 e 34 estavam desligadas.

A Figura 4.2 mostra a planta baixa da área estudada. O número ao lado de cada máquina indica a ordem da medição.

As medições foram efetuadas a 1,0 metro do piso e próximo ao posto de trabalho de cada funcionário.

4.4.3 Equipamento utilizado

Fabricante: Holaday Industries, Inc. [31]

Modelo: HI-3604

Sensor: de um único eixo, diâmetro de 16,5 cm,

Faixa de medição: 0,1 mG – 20,0 G.

Tipo de detetor: rms verdadeiro.

4.4.4 Valores encontrados

Estão apresentados na Tabela 4.2 os valores obtidos nas medições de campo magnético na indústria citada.

Tabela 4.2 Valores das medições de campo magnético obtidos na indústria pesquisada

MEDIÇÃO Nº	B _x (mG)	B _y (mG)	B _z (mG)	B _{resultante} (mG)	B _{resultante} (μT)
1	1,21	1,88	2,08	3,05	0,30
2	0,34	3,20	0,88	3,34	0,33
3	6,75	3,13	0,88	7,49	0,75
4	0,70	1,31	0,79	2,83	0,28
5	0,65	0,66	0,60	1,10	0,11
6	1,40	1,01	1,46	2,26	0,23
7	1,19	0,95	1,54	2,17	0,21
8	3,71	0,83	1,70	4,16	0,42
9	3,59	0,44	1,39	3,87	0,39
10	1,30	1,08	0,90	1,91	0,19
11	3,13	1,34	0,75	3,49	0,35
12	1,28	1,14	0,81	1,90	0,19
13	2,16	0,64	0,90	2,43	0,24
MEDIÇÃO Nº	B _x (mG)	B _y (mG)	B _z (mG)	B _{resultante} (mG)	B _{resultante} (μT)

14	0,96	1,66	1,75	2,60	0,26
15	2,00	0,84	1,31	2,53	0,25
16	3,91	3,85	2,71	6,12	0,61
17	3,56	1,13	1,74	4,12	0,41
18	5,18	2,18	1,96	5,95	0,60
19	3,63	4,01	3,88	6,66	0,67
20	9,88	2,53	3,79	10,88	1,09
21	27,88	3,79	13,13	31,05	3,11
22	5,73	3,31	0,95	6,69	0,67
23	2,69	1,88	1,03	3,44	0,34
24	4,19	1,29	1,46	4,62	0,46
25	4,13	3,00	5,08	7,20	0,72
26	0,80	1,16	2,53	2,90	0,29
27	4,39	4,75	3,05	7,15	0,72
28	4,88	0,90	4,00	6,37	0,64
29	5,01	2,38	1,44	5,73	0,57
30	6,39	5,33	2,90	8,81	0,88
31	1,20	2,25	1,19	2,81	0,28
32	1,48	1,68	0,98	2,44	0,24
33	1,08	1,03	1,95	2,46	0,25
34	1,08	0,94	0,76	1,62	0,16
35	1,68	1,48	1,89	2,93	0,29
36	0,65	0,88	4,38	4,51	0,45

4.4.5 Análise dos Resultados

Os maiores valores de campo magnético foram encontrados junto às máquinas números 20 e 21 pois as mesmas estão próximas da subestação da empresa, como mostrado na Figura 4.2.

Como as medições foram do tipo instantânea, os valores obtidos só podem ser comparados em termos de limite de exposição ocupacional com o valor teto apresentado pela ACGIH. Desta forma, nota-se que o maior valor resultante do campo magnético encontrado nas medições foi 3,11 μT , sendo bem inferior a 1 mT indicado pela ACGIH.

4.5 Conclusão

Apresentou-se neste capítulo, as medições de campo magnético em dois locais distintos: em uma residência e em uma indústria.

Foram utilizados dois protocolos diferentes, um para cada local citado.

Devido ao tipo de equipamento disponível para as medições, só foi possível obter valores instantâneos do campo magnético e desta forma compará-los com o valor teto indicado pela ACGIH.

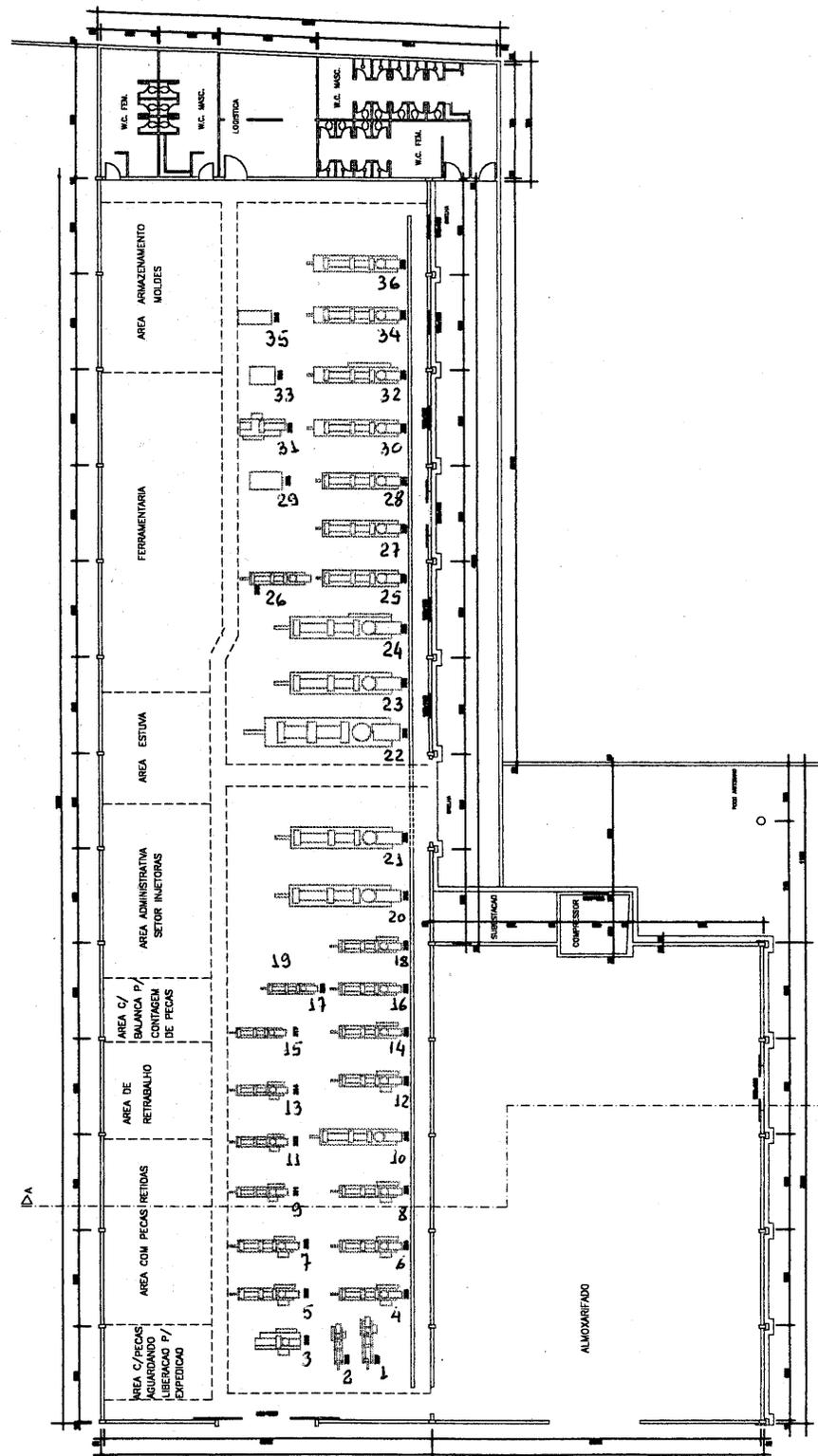


Figura – 4.2 Planta baixa do setor onde foram efetuadas as medições na Indústria

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A preocupação sobre os possíveis efeitos biológicos à saúde do ser humano devido à sua exposição ao campo magnético de frequência industrial, ficou evidenciada pelo envolvimento de diversos órgãos internacionais que estão pesquisando o assunto.

O mecanismo de interação entre o campo magnético e o corpo humano define quais são os parâmetros do campo que devem ser avaliados, para caracterizar uma exposição do ser humano a esse campo. Em se tratando da higiene ocupacional, os parâmetros relacionados com as correntes induzidas no corpo humano são os escolhidos, uma vez que este é o critério adotado pelos órgãos internacionais para a obtenção dos limites de exposição ocupacional.

Foram apresentados e analisados os limites de exposição ocupacional elaborados por cinco organismos internacionais distintos. Existem diferenças entre os valores, os critérios, as nomenclaturas; mas também existe o consenso da necessidade de se estipular limites de exposição, ainda que os efeitos sobre a saúde não sejam totalmente conhecidos.

As medições realizadas em uma residência próxima a uma linha de transmissão e em uma indústria de auto peças, indicaram que os valores instantâneos do campo magnético resultante foram bem inferiores ao valor teto estabelecido pela ACGIH. Este foi o único limite de exposição ocupacional que pode ser comparado com os valores medidos, pois os demais estão relacionados com a duração da exposição. O equipamento disponível para as medições só forneceu os valores instantâneos.

5.1 Propostas de Continuidade

O conhecimento da exposição de um trabalhador a um campo magnético durante uma jornada de trabalho, é um assunto interessante a ser estudado e que não foi discutido nesta dissertação.

O gerenciamento das fontes dos campos magnéticos é outro assunto que merece destaque, notadamente as instalações das concessionárias de energia elétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACGIH, "Threshold Limit Values (TLVs) for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices (BEIs)," . Cincinnati OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1996.
- [2] Adair, Eleanor R., "Currents of Death Rectified," in *Proceedings of the Industry Applications Society, Electromagnetic Fields Seminar*. The Institute of Electrical and Electronic Engineers, 1991.
- [3] Bailey, W.H., "Probabilistic Approach to Deriving Risk-Based Exposure Guidelines: Application to Extremely Low Frequency Magnetic Fields," in *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 72 No 3-4, 1997, pp. 327-336.
- [4] Bailey, W.H.;Su, S.H.;Bracken, T.D., and Kavet, R., "Summary and Evaluation of Guidelines for Occupational Exposure to Power Frequency Electric and Magnetic Fields," in *Health Physics*, vol. 73 No 3, 1997, pp. 433-453.
- [5] Bordeur, Paul, *Currents of Death : Power Lines, Computer Terminals and the Attempt to Cover Up their Threat*. New York: Simon and Schuster, 1989.
- [6] Bordeur, Paul, "Annals of Radiation: The Hazards of Electromagnetic Fields in Three Parts," in *The New York*, 1989, pp. 51-88 , June 12, 51-88 , June 19 , 39-68 , June 26.
- [7] Bordeur, Paul, "The Great Power Line Cover Up," . Little Brown and Company, 1993.
- [8] Bordeur, Paul, "The Cancer at the Slater School," in *The New Yorker*, December 1992, pp. 86-119.
- [9] Bowman, Joseph D.;Kelsh, Michael A., and Kaune, Willian T., "Manual for Measuring Occupational Electric and Magnetic Field Exposure," : U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, October 1998.
- [10] Bowman , JD; Methner , MM, "Hazard Surveillance for Workplace Magnetic Fields: I Walkaround Sampling Method for Measuring Ambient Field magnitude, II Field Characteristics from Waveform Measurement," . U.S. Department of Energy, 1998.
- [11] Congresso, Nacional, "Portaria No 3214 de 08 de junho de 1978," *Diario Oficial da Uniao*, 06/07/1978.

- [12] Congresso, Nacional, "Portaria No 25 de 29 de dezembro de 1994," *Diario Oficial da Uniao*, 12/02/1995.
- [13] Congresso, Nacional, "Lei No 6514 de 22 de dezembro de 1977," in *Diario Oficial da Uniao*, 23/12/1977.
- [14] COST, "Memorandum of Understanding for COST Project 244," . <http://www.radio.fer.hr/cost244/main/cost.htm>.
- [15] Danna P. Loomis, "et al.", "North Carolina Study," : Journal of the National Cancer Institute, 1994.
- [16] E. Sobel , "et. al", "Increased Risk of Alzheimer's Disease Due to EMF Exposure," presented at Four International Conference on Alzheimer's Disease and Related Disorders, Minneapolis , Minnesota, 1994.
- [17] Electric Research and Management, Inc., "Development of Recommendations for Guidelines for Field Source Measurement," in *EMF RAPID Program Engineering Projects-Project # 1*: U.S. Department of Energy, 1997.
- [18] EPRI, "Electric and Magnetic Fields Health Assessment and Management," . <http://www.epri.com/eg/emfba.html>.
- [19] EPRI, "EMF Research at EPRI : Clarifying the Issues," . http://www.epri.com/eg/emf/emf_issues.html.
- [20] EPRI, "Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields and the Risk of Childhood Leukemia," *Electric Power Research Institute Report* , EN-7464, 1991.
- [21] EPRI, *EPRI Journal*, April/May 1993.
- [22] EPRI, "Handbook for Reducing Transmission Line Fields," *The EPRI Journal*, vol. 21 No 4, pp. 36-38, July/August 1996.
- [23] European, Commission, "Proposal for a Council Recommendation on Limitation of Exposure of The General Public to Electromagnetic Fields 0 Hz-300GHz.," . <http://europa.en.int/comm/dg05/phealth/pollut/proposal.htm>, 1998.
- [24] Feychting, Maria and Ahlbom, Anders, "Magnetic Fields and Cancer in People Residing Near Swedish High Voltage Lines," in *Institut for Milijomedicin Karolinska Institut*, vol. IMM-rapport 6/92, 1992.
- [25] Floredus, B. and Person, T., "Occupational Exposure to Electromagnetic Fields in Relation to Leukemia and Brain Tumors. A Case-Control Study," . Solina , Sweden: National Institute of Occupational Health, 1992.

- [26] Florida, Electric, "Biological Effects of 60 Hertz Power Transmission Lines," Florida Department of Environmental Regulation, Tallahassee , FL NTIS No P8-85200871, 1985.
- [27] Goethe, Stig, "EMFs and Health Risks : Research and Reactions in Sweden," *IEEE Power Engineering Review*, vol. 13 No 10, October 1993.
- [28] Goldberg, Robert B., "Literature Resources for Understanding Biological Effects of Electromagnetic Fields," . <http://infoventures.com>, January 1996.
- [29] Guy, Arthur W., "Dosimetry Associated with Exposure to Non-Ionizing Radiation: Very Low Frequency to Microwaves," in *Health Physics*, vol. 53 No 6, 1987, pp. 569-584.
- [30] Hitchcock, R. Timothy and Patterson, Robert M., *Radio Frequency and ELF Electromagnetic Energies - A Handbook for Health Professionals*: John Wiley and Sons, 1995.
- [31] Holaday, Industries, "HI-3604 ELF Survey Meter - User's Manual," .
- [32] Horton, William F. and Goldberg, Saul, *Power Frequency Magnetic Field and Public Health*: CRC Press, 1995.
- [33] Hougue, Patricia S., "Characterization of Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Fields in the Office Environment," : University of Washington - Master Thesis, 1995.
- [34] ICNIRP, "Guide Lines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric , Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)," in *Health Physics*, vol. 74 No 4, April 1998, pp. 494-522.
- [35] IEEE, "Electromagnetic Fields Seminar," presented at Proceedings of the Industry Applications Society, 1991.
- [36] IEEE, "A Protocol for Spot Measurements of Residential Power Frequency Magnetic Fields - A Report of the Magnetic Fields Task Force of the AC Fields Working Group of the Corona and Field Effects Subcommittee of the Transmission and Distribution Committee," *IEEE Transactions on Power Delivery Vol. 8, No. 3, July*, 1993.
- [37] IEEE, "Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines .," *IEEE Std 644-1994*, 1994.
- [38] IEEE, "Recommended Practice for Instrumentation: Specifications for Magnetic Flux Density and Electric Field Strength Meters - 10 Hz to 3 kHz," in *IEEE Std 1308-1994*, 1994.

- [39] ILO, *Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields*: International Labour Office (Occupational Safety and Health Series No 69), 1994.
- [40] IRPA/INICR, "Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields," in *Health Physics*, vol. 58 No1, January 1990, pp. 113-122.
- [41] Kaune, T.S. Tenforde; W.T., "Interaction of Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields with Humans," *Health Physics*, vol. 53 No 6, pp. 585-606, 1987.
- [42] Magnetic, Measurements, "Recommendations for Guidelines for Environment-Specific Magnetic-Field Measurements," in *EMF RAPID Program Engineering Projects- Project # 2*: U.S. Department of Energy, 1997.
- [43] Matanoski, G M;Breysse, P., and Elliot, E.A., "Cancer Incidence in New York Telephone Workers," in *Poster at DOE/EPRI Contractors Review Meeting*, November 1989.
- [44] NIEHS and DOE, "EMF RAPID Program Annual Report for Fiscal Year (FY) 1994, 1995, 1996," . <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>, 1996.
- [45] NIEHS and DOE, "Proceedings of EMF Engineering Review Symposium - Status and Summary of EMF Engineering Research," . <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid>, April 28-29 1998.
- [46] NIEHS, "Assessment of Health Effects from Exposure to Power-Line Frequency Electric and Magnetic Fields - NIEHS EMF RAPID Program," . <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm>: United States Department of Energy and the National Institute of Environmental Health Sciences/National Institute of Health, June 1998.
- [47] NRPB, *Restrictions on Human Exposure to Static and Time Varying Electromagnetic Fields and Radiation Documents of the NRPB*, vol. 4 No 5: National Radiological Protection Board, 1993.
- [48] Olsen, J. H.;Nielsen, A.;Schulgen, G.;Bauts, A., and Larsen, V., "Residence Near High-Voltage Facilities and Risk of Cancer in Children," . Minneapolis , Minnesota 55414: Sponsored by EMF Information Project, October 1992.
- [49] Sahl, Jack D.;Kelsh, Michael A., and Greenland, Sander, "Cohort and Nested Case-Control Studies of Hematopoietic Cancers and Brain Cancer Among Electric Utility Workers," in *Epidemiology*, vol. 4 No 2, March 1993, pp. 104-114.

- [50] Savitz, D.;Wachtel, H.;Barnes, F.;John, E., and Tvrdik, J., "Case-Control Study of Childhood Cancer and 60 Hertz Magnetic Fields," in *American Journal of Epidemiology*, vol. 128, 1988, pp. 21-38.
- [51] T. Dan Bracken, Inc., "Recommendations for Guidelines for EMF Personal Exposure Measurements," in *EMF RAPID Program Engineering Projects-Project # 4*: U.S. Department of Energy, 1997.
- [52] Theriault G. , "et. al.", "Cancer Risks Associated With Occupational Exposure to Magnetic Fields Among Utility Workers in Ontario and Quebec, Canada and France, 1970-1989," in *American Journal of Epidemiology*, vol. 139(6), 1994, pp. 550-572.
- [53] Valberg, Peter A., "Designing EMF Experiments: What is Required to Characterize "Exposure" ?," in *Bioelectromagnetics*, vol. 16, 1995, pp. 396-401.
- [54] Vincent, J.H., "International Occupational Exposure Standards: A Review and Commentary," in *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 59 No 10, 1998, pp. 729-742.
- [55] Wertheimer, N and Leeper, "Electrical Wiring Configurations and Childhood Cancer," in *American Journal of Epidemiology*, 1979, pp. 109-173.
- [56] White, Peter, "Poison in Paradise," in *IMAGE magazine*, March 1993, pp. 19-29.
- [57] WHO, "International EMF Project - Health and Environmental Effects of Exposure to Static and Time Varying Electric and Magnetic Fields," . http://www.who.int/peh-emf/discrimination/desc_english.htm: World Health Organization.
- [58] WHO, "World Health Organization : Objectives and Functions," . <http://www.who.int>.
- [59] WHO, *Magnetic Fields (Environmental Health Criteria 69)*. Geneva: World Health Organization, 1987.
- [60] WHO, " Press Release WHO/38 Scientists Meet in Moscow to Discuss Adverse Health Effects of Electromagnetic Fields," . <http://www.who.int/inf-pr-1998/en/pr98-38.html>: World Health Organization, 1998.
- [61] Questions and Answers – EMF in the Workplace – Electric and Magnetic Fields Associated with the use of Electric Power – National Institute for Occupational Safety and Health , National Institute of Environmental Health Sciences , U. S. Department of Energy. September 1996

ANEXO A

PESQUISAS INTERNACIONAIS SOBRE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS -

A.1 Introdução

Pesquisas sobre campos elétricos e magnéticos em frequência industrial têm sido elaboradas em todo mundo com os seguintes propósitos:

- melhor compreender as fontes desses campos;
- investigar os possíveis mecanismos de interação biológica;
- examinar os prováveis efeitos à saúde devido a exposição do ser humano a esses campos;
- identificar métodos adequados para o gerenciamento desses campos.

É apresentado neste trabalho dois organismos que estão envolvidos com pesquisas sobre os campos elétricos e magnéticos: o Electric Power Research Institute – EPRI e a Organização Mundial da Saúde – OMS.

A.2 Electric Power Research Institute – EPRI

O EPRI foi criado em 1973 pelas concessionárias de energia elétrica dos Estados Unidos. Tem como missão descobrir, desenvolver e fornecer tecnologia para o benefício das próprias concessionárias membros (hoje em torno de 700), seus consumidores e a sociedade. Sua sede é em Palo Alto no Estado da Califórnia, onde trabalham mais de 350 cientistas e engenheiros envolvidos com 1700 projetos aproximadamente.

O EPRI desde 1975, está pesquisando os efeitos potenciais da exposição do ser humano aos campos elétricos e magnéticos em frequência industrial [19]. O EPRI considera este seu programa de pesquisa como um dos maiores do mundo. O programa está enfatizado nos estudos epidemiológicos, que inclui inúmeras medições em campo; desenvolvimento e comercialização de instrumentos de medição de campos elétricos e magnéticos; caracterização de fontes de campo magnético e, experimentos em laboratório no intuito de identificar

efeitos biológicos específicos sobre exposição a campos elétrico e magnético [19].

Um dos aspectos mais difíceis na pesquisa da determinação se a exposição a campos elétricos e magnéticos pode causar problemas à saúde, tem sido a medição da própria exposição.

Como já abordado no Capítulo 2, a avaliação da exposição é complexa devido a diversos fatores. Os indivíduos são incapazes de detectar a existência de campos elétrico e magnético. Para auxiliar os pesquisadores, o EPRI desenvolveu instrumentos capazes de medir a intensidade dos campos em intervalos de tempo especificados. Os equipamentos são comercializados sob o nome EMDEX™.

O programa do EPRI apresenta duas linhas mestras de pesquisa a saber [18]:

- a) avaliação sobre a saúde devido a exposição aos campos elétrico e magnético;
- b) gerenciamento de campos elétrico e magnético.

Para a primeira linha de pesquisa, é relacionado a seguir, os temas a serem desenvolvidos bem como seus prazos de execução [18]:

- | | |
|---|-------------|
| • estudos sobre exposição aos campos em residências | 1997 - 2000 |
| • estudos de câncer em animais | 1997 – 2000 |
| • avaliação dos códigos dos condutores como método de prognóstico ao risco de câncer | 1998 – 2000 |
| • estudos de saúde ocupacional | 1997 – 2000 |
| • informações sobre exposição ocupacional aos campos eletromagnéticos | 1997 – 2000 |
| • estudos sobre o câncer usando modelos de células | 1997 – 2000 |
| • estruturas integradas para tomada de decisão sobre campos eletromagnéticos | 1997 – 1999 |
| • informações sobre exposição a campos eletromagnéticos nas comunidades e residências | 1998 – 2000 |
| • resposta biológica e mecanismos biofísico | 1997 – 2000 |
| • métodos para estudos epidemiológicos devido aos campos eletromagnéticos | 1998 – 1999 |

Os possíveis efeitos à saúde do público em geral devido à exposição aos campos elétricos e magnéticos produzidos pelas instalações elétricas das concessionárias, está onerando o planejamento, construção e operação desses sistemas. A segunda linha de pesquisa, gerenciamento de campos elétrico e magnético, lida diretamente com este problema [18].

Os temas a serem desenvolvidos para esta linha de pesquisa, estão relacionados a seguir bem como seus prazos de realização [18]:

- gerenciamento de campos magnéticos em sistemas de transmissão de energia elétrica – desenvolvimento de programa computacional e elaboração de livro 1997 - 2000
- desenvolvimento de programas computacionais: gerenciamento e exposição a campos eletromagnéticos 1997 – 2000
- gerenciamento de campo magnético no sistema de distribuição de energia elétrica – desenvolvimento de “hardware” , programas computacionais e elaboração de livro 1998 – 2000
- blindagem de campo magnético 1998 – 2000
- gerenciamento da exposição dos trabalhadores a campos magnéticos ocupacional 1998 - 2000
- materiais polímeros de blindagem 1998

Sobre os recursos empregados nas pesquisas, a única informação obtida é que em 1993, foram alocados em torno de 40 milhões de dólares em todo o mundo, incluindo os valores do EPRI [19].

A.3 Organização Mundial da Saúde – OMS

A Organização Mundial da Saúde é definida pela sua Constituição como autoridade condutora e coordenadora do trabalho sobre a saúde internacional. O objetivo da OMS é obter para todas as pessoas o mais alto nível possível de saúde. A Constituição da OMS define saúde como o estado completo de bem-estar físico, mental e social e não meramente a ausência de distúrbio ou enfermidade [58].

O Brasil e a China, em 1945, foram os países autores da proposta da criação de uma organização internacional autônoma sobre a saúde na Confe-

rência das Nações Unidas sobre Organização Internacional. A proposta foi aprovada por unanimidade e, em 1946 na Conferência Internacional sobre a Saúde, na cidade de New York, foi aprovada a Constituição da Organização Mundial da Saúde.

A OMS iniciou em 1996 o projeto denominado “International EMF Project – Health and Environmental Effects of Exposure to Static and Time Varying Electric and Magnetic Fields”, com previsão para encerramento no ano de 2005. Este projeto abrange campos eletromagnéticos com frequências entre 0 e 300 GHz.

Os objetivos principais do programa são [49] :

- proporcionar resposta coordenada a nível internacional sobre as dúvidas dos possíveis efeitos à saúde devido a exposição a campos eletromagnéticos;
- avaliar a literatura técnica existente sobre o assunto;
- identificar lacunas no conhecimento que necessitem mais pesquisas;
- incentivar o desenvolvimento de normas internacionais sobre exposição a campos eletromagnéticos;
- divulgar os programas de gerenciamento de proteção aos campos eletromagnéticos.

No desenvolvimento do projeto retro citado, a Organização Mundial da Saúde conta com a participação e colaboração das seguintes organizações internacionais [49] :

- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP);
- International Agency for Research on Cancer (IARC);
- International Labour Office (ILO);
- International Telecommunication Union (ITU);
- European Commission (EC);
- International Electrotechnical Commission (IEC);
- United Nations Environment Programme (UNEP);
- North Atlantic Treaty Organization (NATO).

O ICNIRP é uma comissão internacional independente, formalmente reconhecida como organização não governamental pela OMS e ILO. Esta comissão desenvolve normas sobre limites de exposição a radiações não ionizantes.

O IARC estuda os efeitos carcinógenos das radiações em função de amostra de exposição, tipo de radiação e modificadores dos efeitos ambientais. O objetivo do trabalho do IARC é fortalecer as bases de proteção contra radiações e aumentar o conhecimento sobre o mecanismo biológico da carcinógenos.

O ILO cuida de promover a justiça social e de reconhecer os direitos humanos e do trabalho a nível internacional. Possui diversas publicações a respeito de exposições a campos eletromagnéticos.

O ITU promove o desenvolvimento e eficiência operativa de empresas de telecomunicação. Ciente da controvérsia sobre possíveis efeitos à saúde devido a exposição a campos eletromagnéticos, o ITU formou um comitê para estudar o assunto.

Atualmente a EC possui muitas atividades relacionadas com campos eletromagnéticos. Existe uma Diretoria na EC que mantém relacionamento com o ICNIRP.

O IEC promove cooperação internacional com todas as questões relacionadas com os aspectos normativos nos campos da eletricidade, eletrônica e tecnologia correlatas. É o foro da preparação e implementação de normas internacionais, destinadas a facilitar o comércio internacional de itens afins, contribuindo com o aumento da qualidade de vida das pessoas.

A UNEP encoraja as nações, as sociedades e os povos em preservar o ambiente de maneira a aumentar a qualidade de vida. A UNEP colabora também com a OMS e ICNIRP no assunto envolvendo campos eletromagnéticos.

A NATO possui particular interesse nos campos eletromagnéticos afetos às atividades envolvendo equipamentos que utilizam rádio-freqüências.

As seguintes agências científicas internacionais independentes colaboram também com a Organização Mundial da Saúde no "International EMF Project" :

- NRPB : National Radiological Protection Board

Chilton, Didcot, Oxon, OX 11 ORQ, United Kingdom.

- BfS : Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlehygiene Ingolstädter Landstrasse 1, D-85764 Oberschleissheim, Germany.

- KI : Karolinska Institute, Institute of Environmental Medicine, Epidemiology Division – Box 210, S-171 77 Stockholm, Sweden.
- FDA : Food and Drug Administration, Division of Life Sciences, Center for Devices and Radiological Health, 5600 Fishers Lane, Rockville, Maryland, USA.
- NIEHS : National Institute of Environmental Health Sciences, Box 12233, Research Triangle Park, North Carolina 27709, USA.
- NIOSH : National Institute of Occupational Health, Physical Agents Effects Branch – Division of Biomedical and Behavioral Science, Mailstop R-44, 4676 Columbia Parkway – Cincinnati, Ohio 45226 – 1998, USA.
- NIES : National Institute for Environment Studies, Environmental Risk Research Division 16-2 Onogawa, Tsukuba City, Ibaraki, 305 Japan.

O “International EMF Project” da Organização Mundial da Saúde, possui as seguintes atividades permanentes:

- monitorar todo resultado de pesquisa e comparecer a encontros científicos;
- participar de seminários e simpósios;
- compilar, rever e disseminar informações sobre campos eletromagnéticos;
- publicar o “WHO Facts Sheets” sobre os vários tópicos dos campos eletromagnéticos;
- manter atualizada a página sobre o assunto na Internet;
- preparar brochuras sobre o projeto;
- responder as indagações sobre o assunto;
- preparar encontros científicos.

A Organização Mundial da Saúde possui uma dotação orçamentária anual de 600 mil dólares para o “International EMF Project” .

ANEXO B**CONCEITOS GERAIS****B.1 Introdução**

O esquema abaixo sintetiza o foco da higiene ocupacional.



Figura B1 – Conceito de higiene ocupacional

Consideram-se agentes físicos diversas formas de energia a que possam estar expostos os seres humanos, tais como: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, bem como o infra-som e ultra-som.

O conjunto das radiações ionizantes e das não ionizantes englobam todas as formas de energia eletromagnética. Essas energias estão distribuídas através do espectro eletromagnético como mostrado na Figura B.2.

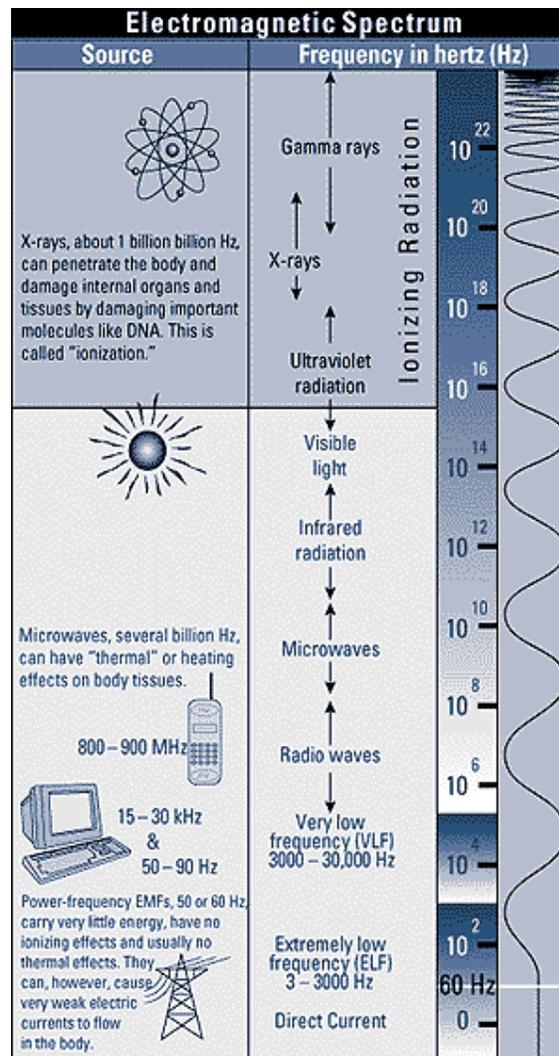


Figura B 2 – Espectro eletromagnético [61]

A radiação eletromagnética é a propagação de energia pela variação no tempo, dos campos elétrico e magnético e, é caracterizada por três grandezas: comprimento de onda, frequência e energia.

O comprimento de onda é a distância entre dois picos sucessivos de uma onda. A letra grega lambda (λ) é utilizada para representar o comprimento de onda, sendo sua unidade de medida o metro, com seus múltiplos e submúltiplos.

A frequência, medida em hertz (Hz), é um número de ciclos completo de uma onda que passa em um dado ponto em 1 segundo.

Quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda. A relação entre essas grandezas é:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (B-1)$$

onde:

λ - comprimento de onda, em metros

C – velocidade da luz, igual a 3×10^8 m/s;

f – frequência, em hertz.

As radiações eletromagnéticas que compõem as radiações não ionizantes estão mostradas na Tabela B.1, com seus intervalos de comprimento de onda e frequência.

Tabela B.1 – Características Fundamentais das Radiações Não Ionizantes

Região	Comprimento de Onda*	Frequência*
Ultravioleta	$100 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$	$3 \text{ EHz} \leq f \leq 7500 \text{ THz}$
Luz visível	$400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 760 \text{ nm}$	$7500 \text{ THz} \leq f \leq 3950 \text{ THz}$
Infravermelho	$760 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1 \text{ mm}$	$3950 \text{ THz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$
Laser a gás	$3,9 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1 \text{ mm}$	$76,9 \text{ EHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$
Laser líquido	$0,33 \text{ }\mu\text{m} \leq \lambda \leq 1,8 \text{ }\mu\text{m}$	$0,9 \text{ EHz} \leq f \leq 0,17 \text{ EHz}$
Laser estado sólido	$0,17 \text{ }\mu\text{m} \leq \lambda \leq 360 \text{ }\mu\text{m}$	$1,76 \text{ EHz} \leq f \leq 83,3 \text{ THz}$
Microondas	$1 \text{ mm} \leq \lambda \leq 1\text{m}$	$300 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ MHz}$
Rádiofrequência	$1\text{m} \leq \lambda \leq 100 \text{ km}$	$300 \text{ MHz} \leq f \leq 3 \text{ kHz}$
Extrema baixa frequência	$100 \text{ km} \leq \lambda \leq 10000 \text{ km}$	$3 \text{ kHz} \leq f \leq 30 \text{ Hz}$

*Nota: os prefixos decimais utilizados em múltiplos e submúltiplos das unidades estão mostrados na Tabela B 2 no final deste Apêndice.

Este trabalho só aborda a radiação não ionizante na região da extrema baixa frequência, especificamente na frequência de 60 Hz, conhecida como frequência industrial.

B.2 Conceitos elétricos

A carga elétrica é a propriedade fundamental na qual as grandezas do campo eletromagnético são desenvolvidas.

Os elétrons possuem carga negativa e os prótons cargas positivas. As cargas exercem forças uma sobre as outras; cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem. Na matéria, o número de prótons e elétrons são iguais, acarretando um equilíbrio de forças devido as cargas elétricas. A unidade de carga elétrica é o coulomb (C), prótons e elétrons possuem o mesmo número de cargas igual a $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Nos materiais condutores, elétrons estão livres para se movimentarem e assim redistribuir as cargas. Metais como ouro, prata, cobre e alumínio são condutores.

Corrente é o movimento das cargas através do condutor num período de tempo e é medida em ampère.

Potencial elétrico é a medida da energia potencial e é expressa em joules por coulomb, ou volts (V).

Corrente não fluirá de um ponto a outro se não existir diferença de potencial entre os dois pontos.

B.3 Conceito de Campo

Um campo é uma grandeza física que pode possuir diferentes valores em pontos distintos do espaço. Um campo pode ser entendido como um número de linhas de força (fluxo) que atravessam uma determinada área. A intensidade de um campo é proporcional a densidade de linhas de força. Os campos podem ser escalares ou vetoriais.

Uma grandeza escalar é aquela que é representada por sua intensidade, amplitude ou comprimento. Exemplos de grandezas escalares: massa de um corpo, carga elétrica, o tempo. Um exemplo de campo escalar é a temperatura atmosférica que é função do ponto de medição (x, y, z) e do horário do dia (t) ou T (x, y, z, t).

Uma grandeza vetorial para ser caracterizada necessita da indicação da direção e intensidade. Um exemplo de uma grandeza vetorial é a força entre duas cargas elétricas, que pode ser de atração ou de repulsão. O campo elétrico e o campo magnético, são exemplos de campos vetoriais.

Um campo elétrico é criado por cargas elétricas. Sua intensidade é medida em volts por metro (V/m).

O campo magnético resulta do fluxo de corrente através de um condutor e sua intensidade aumenta com o aumento da corrente. As grandezas vetoriais fundamentais que descrevem o campo magnético são a intensidade de campo **H** medida em ampère por metro (A/m) e a densidade de fluxo magnético **B** medida em tesla (T). Essas grandezas estão relacionadas pela equação:

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H} \quad (\text{B-2})$$

Onde μ é a permissividade magnética do meio, expressa em henry por metro (H/m).

B.4 Comparação entre os campos elétrico e magnético

A Figura B.3 ilustra de maneira simples a diferença entre os campos elétrico e magnético.

Do lado esquerdo da figura, está representado um abajur desligado porém conectado à uma tomada, que é uma fonte de energia elétrica. Nesta situação a lâmpada do abajur está apagada, mas um campo elétrico existe pois o abajur está conectado à tomada e, existe um potencial elétrico na mesma (normalmente em ambientes residenciais o valor deste potencial é igual a 127 volts).

Quando o abajur é ligado, a lâmpada acende pois uma corrente elétrica irá circular. Neste caso surge o campo magnético, conforme ilustrado no lado direito da Figura B.3.

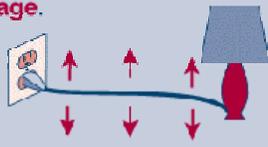
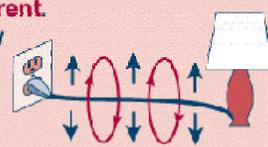
Electric Fields	Magnetic Fields
<p>1. Produced by voltage. Lamp plugged in but turned off. Voltage produces an electric field.</p> 	<p>1. Produced by current. Lamp plugged in and turned on. Current now produces a magnetic field, also.</p> 
<p>2. Measured in volts per meter (V/m) or in kilovolts per meter (kV/m). 1 kV = 1000 V</p>	<p>2. Measured in gauss (G) or tesla (T). 1 milligauss (mG) = 0.1 microtesla (μT) milli (m) = 1 thousandth micro (μ) = 1 millionth</p>
<p>3. Easily shielded (weakened) by conducting objects like trees and buildings.</p>	<p>3. Not easily shielded (weakened) by most material.</p>
<p>4. Reduced in strength with increasing distance from the source.</p>	<p>4. Reduced in strength with increasing distance from the source.</p>

Figura B.3 – Comparação entre campos elétrico e magnético [61]

B.5 Analogia dos termos elétricos com termos hidráulicos

Pode-se fazer uma comparação entre os termos elétricos , corrente e potencial elétrico ou tensão, com os termos de uma instalação hidráulica.

A Figura B.4 abaixo ilustra esta comparação. Na parte superior desta figura, no seu lado esquerdo, está representado um abajur desligado, conectado à uma tomada elétrica. No lado direito superior , está indicado uma torneira aberta na qual está conectada uma mangueira que possui na outra extremidade um bico, estando este fechado. No sistema hidráulico desta figura, há uma pressão na mangueira, devido a água, pois o bico existente em uma das suas extremidades está fechado. Analogamente no sistema elétrico, existe uma pressão elétrica, devido a existência de tensão ou potencial elétrico no condutor que está conectado à tomada e ao abajur.

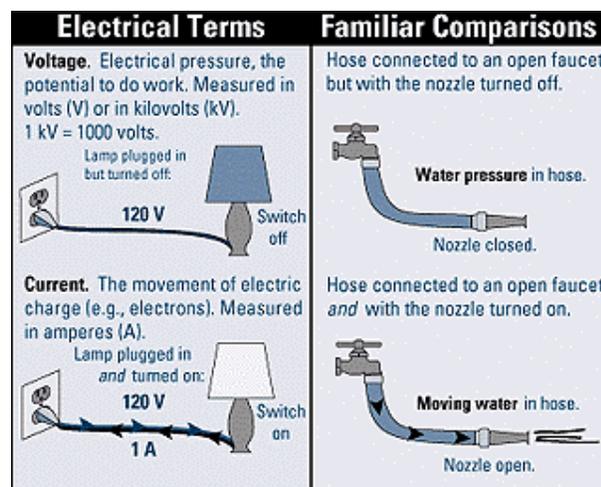


Figura B.4 – Comparação entre termos elétrico e hidráulicos [61]

Na parte inferior e à esquerda da figura, mostra o abajur ligado, a lâmpada está acesa, e há circulação de corrente no condutor que conecta o abajur à tomada. De maneira semelhante, quando o bico existente em uma das extremidades da mangueira se abre, há a circulação de água pela mesma.

Tabela B.2 - Prefixos decimais utilizados em múltiplos e submúltiplos de unidades

Múltiplo	Nome do Prefixo	Símbolo
10^{15}	Exa	E
10^{12}	Tera	T
10^9	Giga	G
10^6	Mega	M
10^3	Kilo	K
10^2	Hecto	H
10	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

PROTOCOLO DE MEDIÇÃO DE CAMPO MAGNÉTICO EM FREQUÊNCIA INDUSTRIAL EM RESIDÊNCIA

É apresentado na íntegra a cópia do protocolo de medição de campo magnético em frequência industrial em residência, elaborado e publicado pelo IEEE

