

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Karla Antunes Tavares**

**EXPOSIÇÃO DE TRABALHADORES AOS  
CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NOS  
SERVIÇOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO  
ENERGIZADAS**

**Taubaté – SP**

**2009**

**Karla Antunes Tavares**

**EXPOSIÇÃO DE TRABALHADORES AOS  
CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NOS  
SERVIÇOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO  
ENERGIZADAS**

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento de Pós-Graduação da Universidade de Taubaté.

Orientador: Professor Joaquim Gomes Pereira

**Taubaté – SP**

**2009**

**Ficha catalográfica elaborada pelo  
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

T231e Tavares, Karla Antunes  
Exposição de trabalhadores aos campos eletromagnéticos nos serviços em linhas de transmissão energizadas / Karla Antunes Tavares. - 2009. 58f. : il.

Monografia (especialização) - Universidade de Taubaté, Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação, 2009.  
Orientação: Prof. Joaquim Gomes Pereira, Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação.

1. Campos elétricos. 2. Campos magnéticos. 3. Linhas de transmissão. 4. Limites de exposição. I. Título.

KARLA ANTUNES TAVARES

EXPOSIÇÃO DE TRABALHADORES AOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NOS  
SERVIÇOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO ENERGIZADAS

Monografia apresentada para obtenção do  
Certificado de Especialização em Engenharia  
de Segurança do Trabalho, do Departamento  
de Pós-Graduação da Universidade de  
Taubaté.

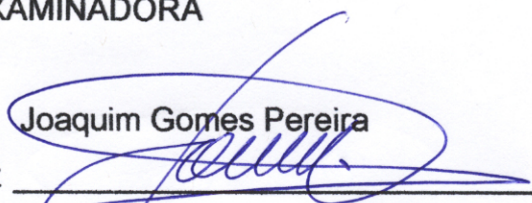
DATA: 27/08/2009

RESULTADO: Aprovada

BANCA EXAMINADORA

Prof.: Joaquim Gomes Pereira

Instituição: UNITAU

Assinatura: 

Prof.: Carlos Alberto Guimarães Garcez

Instituição: UNITAU

Assinatura: 

Prof.: João Alberto Bajerk

Instituição: UNITAU

Assinatura: 

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador professor Joaquim Gomes Pereira, pela atenção mesmo em momentos difíceis...

Aos engenheiros Weberson Eduardo Guioto Abreu e Benedito Roberto dos Santos e ao técnico José Benedito Zuin, pelas horas despendidas ao me receber na CTEEP para coletar dados referentes aos serviços em linhas de transmissão...

Aos engenheiros Luiz Carlos de Miranda Junior e Luiz Rodrigues Kisch da CPFL, pelas explicações técnicas e informações sobre o projeto EMF-SP...

Aos senhores Anderson J. de Assis e Roberto Eustáquio Guimarães da RITZ do Brasil, pelo envio de catálogos e informações sobre equipamentos de trabalho e de segurança...

Aos engenheiros Benedito Claret Pinho de Carvalho e Daniel Floriano de Carvalho, pela ajuda na coleta de informações sobre normas e leis e sugestões sobre o texto...

A todos aqueles que me apoiaram durante o curso e na elaboração desta monografia...

... Muito obrigada!

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo identificar os riscos, os limites de referência e as normas aplicáveis à exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos nos serviços realizados em linhas de transmissão através do método ao potencial, bem como confrontar valores calculados e medidos com os limites previamente indicados. Para tanto, apresenta em sua Revisão de Literatura as organizações internacionais, as normas e leis brasileiras que tratam do assunto e os limites que recomendam para a exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência. Além disso, indica os possíveis efeitos biológicos que os campos podem trazer ao trabalhador, muitos deles sem comprovação científica. Através do cálculo teórico do campo magnético em uma linha de transmissão hipotética e da análise de uma medição realizada no estado de São Paulo, verificam-se valores a que o trabalhador pode estar exposto, alguns destes acima dos limites de referência.

**Palavras-chave:** Campos elétricos. Campos magnéticos. Linhas de transmissão. Limites de exposição.

## ABSTRACT

### *Exposure of workers to electromagnetic fields in energized transmission lines services*

This paper aims to identify the risks, the reference limits and standards for occupational exposure to electric and magnetic fields in the services performed in transmission lines using the method of potential, as well as to compare calculated and measured values with the limits previously indicated. It presents, in its Review of the Literature, international organizations, Brazilian standards and laws that deal with the issue and recommend limits on exposure to electromagnetic fields of low frequency. It also indicates the possible biological effects that fields can bring to the employee, many of them without scientific evidence. Through the theoretical calculation of the magnetic field in a hypothetical transmission line and analysis of a measurement performed in the state of Sao Paulo, there are values to which a worker may be exposed, some of them above reference limits.

**Keywords:** Electric fields. Magnetic fields. Transmission lines. Exposure limits.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético .....	17
Figura 2 - Exemplo de marca-passo .....	24
Figura 3 - Escalada dos eletricitistas A e B, levando a corda de segurança e corda de serviço .....	40
Figura 4 - Eletricista C com a vestimenta condutiva preparado para escalar a estrutura .....	41
Figura 5 - Saída do eletricitista C sobre a cadeirinha e posicionamento do moitão para fixação do rabicho .....	42
Figura 6 - Eletricistas A e B executando o rabicho para saída na fase lateral ou central.....	42
Figura 7 - Detalhe da entrada do eletricitista C equalizando o potencial e subindo sobre os cabos da fase lateral.....	43
Figura 8 - Eletricista A levando a bicicleta até o eletricitista C .....	44
Figura 9 - Recebimento e instalação da bicicleta pelo eletricitista C.....	44
Figura 10 - Deslocamento do eletricitista C sobre os cabos condutores.....	45
Figura 11 - Posição de trabalho para troca do espaçador.....	45
Figura 12 - Passagem da bicicleta sobre o espaçador.....	46
Figura 13 - Passagem do eletricitista C sobre o espaçador .....	46
Figura 14 - Campo magnético em um condutor retilíneo.....	49
Figura 15 - Torre da linha de transmissão.....	52



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distância versus densidade de fluxo magnético .....	50
Gráfico 2 - Densidade de fluxo magnético medida.....	53
Gráfico 3 - Densidade de fluxo de magnético de acordo com a distância.....	53

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grandezas elétricas, eletromagnéticas e dosimétricas .....	21
Quadro 2 - Interação entre as variáveis do SEP e os CEM.....	25
Quadro 3 - Riscos associados.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de exposição ocupacional a CEM de 60 Hz.....	31
Tabela 2 - Distribuição dos valores obtidos em função da tensão da rede .....	36
Tabela 3 - Distância limite para densidade de fluxo magnético de 4170 mG .....	51

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRICEM	Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEM	Campos Eletromagnéticos
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CTEEP	Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista
EMF	Electromagnetic Fields
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
SEP	Sistema Elétrico de Potência

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1 Objetivo</b> .....	14
<b>1.2 Limitação do tema</b> .....	14
<b>1.3 Estrutura do trabalho</b> .....	14
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	16
<b>2.1 Radiações ionizantes e não-ionizantes</b> .....	16
<b>2.2 Campos elétricos e magnéticos</b> .....	18
2.2.1 Grandezas e unidades .....	19
2.2.2 Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos .....	22
2.2.3 Campos eletromagnéticos no sistema elétrico de potência .....	25
<b>2.3 Organizações internacionais e limites de exposição</b> .....	26
2.3.1 Cenelec .....	26
2.3.2 IEC .....	27
2.3.3 IEEE .....	27
2.3.4 ACGIH .....	28
2.3.5 ICNIRP .....	29
2.3.6 Comparação entre as organizações .....	31
<b>2.4 Normatização brasileira</b> .....	31
2.4.1 NBR 5422 .....	32
2.4.2 Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego .....	32
2.4.3 NBR 15415 .....	33
2.4.4 Lei nº 11.934 de 05 de maio de 2009 .....	34
<b>2.5 Projeto EMF-SP</b> .....	34
<b>2.6 Serviços em linhas de transmissão energizadas</b> .....	37
2.6.1 Método ao potencial .....	37
2.6.2 Procedimento para manutenção em condutores e espaçadores .....	38
2.6.2.1 Equipe e tempo de execução .....	38
2.6.2.2 Uniformes e equipamentos de proteção individual .....	38
2.6.2.3 Passo a passo .....	39

2.6.2.4 Riscos associados.....	47
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>48</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
4.1 Cálculo teórico.....	49
4.2 Medição .....	51
<b>5 DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A finalidade de todo Sistema Elétrico de Potência (SEP) é atender aos seus usuários com qualidade elevada de serviço e a baixo custo. Para atender este objetivo, o sistema de transmissão, onde os blocos de energia transportados e as distâncias envolvidas são as maiores dos sistemas elétricos, deve possuir alta confiabilidade e continuidade de serviço.

A fim de evitar os indesejáveis desligamentos das redes elétricas para execução de serviços de manutenção, houve o desenvolvimento de técnicas práticas e seguras que possibilitam serviços em sistemas energizados, como o trabalho ao potencial e à distância.

Apesar de estes métodos garantirem a continuidade de operação do sistema elétrico, eles oferecem alguns riscos aos eletricitários como as quedas, o choque elétrico, a exposição a arcos elétricos e a radiações não-ionizantes, representadas pelos raios ultravioletas quando da exposição a arcos elétricos, e, permanentemente, a campos eletromagnéticos em frequência extremamente baixa.

O risco permanente para trabalhos ao potencial e à distância, advindo da radiação eletromagnética gerada pelas linhas de transmissão, tem causado bastante discussão em todo o mundo, tanto em relação à exposição ocupacional quanto da população em geral, sendo que ainda não existe um consenso a respeito de seus efeitos no ser humano.

Em face das incertezas dos possíveis efeitos adversos à saúde provocada pelos campos eletromagnéticos e dos recentes questionamentos e preocupações dos empregados da área elétrica e industrial com relação ao ambiente de trabalho e da carência de informações dos níveis existentes em instalações elétricas, faz-se necessária uma avaliação criteriosa destes valores.

## **1.1 Objetivo**

Identificar, através de uma revisão bibliográfica, os riscos, os limites de referência e as normas aplicáveis à exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos, bem como confrontar valores calculados e medidos com os limites previamente indicados.

## **1.2 Limitação do tema**

Este trabalho leva em consideração apenas os serviços em linhas de transmissão energizadas realizados através do Método ao Potencial, sendo que os riscos relacionados aos campos eletromagnéticos à frequência industrial (60 Hz) são aqueles que receberão atenção especial.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

O trabalho está dividido em seis capítulos: INTRODUÇÃO, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, METODOLOGIA, RESULTADOS, DISCUSSÃO e CONCLUSÃO.

Na Revisão Bibliográfica, serão apresentados alguns conceitos para introdução do tema, as organizações internacionais e a normatização nacional que tratam da exposição a campos eletromagnéticos e os limites que são adotados por elas.



Posteriormente, será apresentado um procedimento de trabalho em linha de transmissão utilizado pela CTEEP (Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista) para exemplificar o tipo de situação a que esta monografia se refere.

No capítulo de Resultados, será mostrado um cálculo teórico de campo magnético em uma dada linha de transmissão para exemplificar valores a que o trabalhador pode ser exposto, além de uma medição realizada no estado de São Paulo.

Por último, serão indicadas as considerações finais e as conclusões a respeito do tema.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Radiações ionizantes e não-ionizantes

Radiação é uma forma de energia que se propaga através do espaço como ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas. A radiação eletromagnética é variável em tempo e espaço e viaja pelo ar à mesma velocidade da luz. Ela pode ser dividida em dois grupos de acordo com o seu efeito, a saber (BREVIGLIERO, 2006):

- *Radiações ionizantes:* são ondas eletromagnéticas de altíssimas frequências, que possuem grande poder de ionização. Possuem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos constituintes da matéria, podendo gerar rupturas de ligações moleculares. Entre esse tipo de radiação estão os raios alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), gama ( $\gamma$ ), X e radiação de nêutrons;
- *Radiações não-ionizantes:* são ondas eletromagnéticas de menor energia e frequência que as ionizantes e que, por conseguinte, não possui a energia necessária para produzir a separação dos elétrons do átomo. Contudo geram a excitação dos átomos constituintes da matéria, transferindo-lhes energia. Grande parte desse espectro produz dissipação térmica na matéria exposta.

A Figura 1 mostra o espectro eletromagnético, que é uma faixa contínua que engloba desde os raios cósmicos (radiações de alta energia) até campos que não variam no tempo (corrente contínua), indicando o limite entre as radiações ionizantes e não-ionizantes. Qualquer localização no espectro pode ser caracterizada pelo comprimento de onda, frequência e energia do fóton.

A forma de onda do lado direito da Figura 1 ilustra o conceito de que, quanto maior a frequência, mais rapidamente o campo varia. Além disso, indica que o comprimento da onda é inversamente proporcional à frequência.

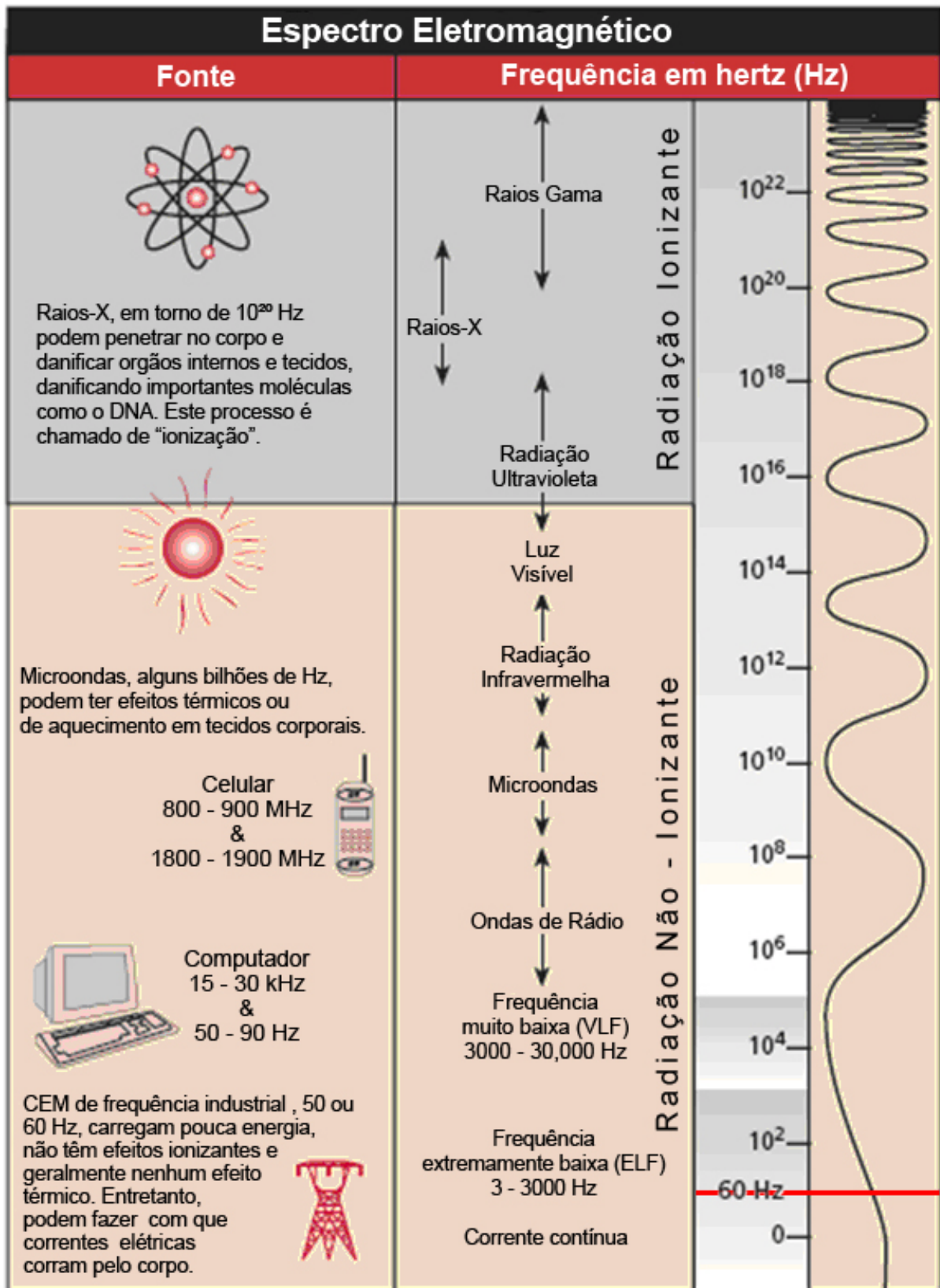


Figura 1 - Espectro eletromagnético  
 Fonte: NIEHS, 2002

## 2.2 Campos elétricos e magnéticos

Os campos elétricos e magnéticos (CEM) em 60 Hz coexistem em ambientes residenciais e de trabalho, em função da operação de qualquer tipo de equipamento elétrico e também da proximidade a linhas de transmissão e subestações de energia elétrica. De uma forma geral, os CEM decorrem da geração, distribuição e uso da energia elétrica, constituindo linhas de força e de indução que circundam os corpos e dispositivos existentes no ambiente.

Os campos elétricos são produzidos pelas tensões dos sistemas de energia elétrica, disponíveis nas tomadas para funcionamento de equipamentos. Esses campos dependem da intensidade e da distância das fontes de radiação, sendo medidos pela unidade Volt por metro (V/m). O campo elétrico está presente desde que exista tensão disponível, havendo ou não circulação de corrente.

Os campos magnéticos são decorrentes da passagem de corrente elétrica por condutores ou equipamentos. Esses campos também dependem da intensidade e da distância das fontes de corrente. São obtidos através da densidade de fluxo magnético, que é medida pelas unidades Gauss (G) ou Tesla (T). Os campos magnéticos estão presentes tão somente quando há a passagem de corrente elétrica pelos equipamentos.

Os CEM são caracterizados por:

- sua frequência (comprimento de onda),
- sua amplitude (intensidade).

Em baixa frequência, os CEM não estão diretamente inter-relacionados, comportando-se de forma independente. Além disso, enquanto os campos elétricos são normalmente blindados por obstáculos, como árvores e objetos em geral, os campos magnéticos não o são (CAMARGO, 2005).

### 2.2.1 Grandezas e unidades

Enquanto os campos elétricos são associados somente com a presença de carga elétrica, os campos magnéticos resultam do movimento físico da carga elétrica (corrente elétrica) (ICNIRP, 1998).

Campos elétricos e magnéticos têm amplitude e direção, ou seja, são grandezas vetoriais. Um campo magnético pode ser especificado de duas maneiras: como densidade de fluxo magnético  $B$ , expressa em tesla (T), ou como campo magnético  $H$  propriamente dito, expresso em ampère por metro (A/m). As duas quantidades são relacionadas pela fórmula:

$$B = \mu H, \tag{1}$$

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

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

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

- as frentes de onda têm uma geometria plana;
- os vetores  $E$  (campo elétrico) e  $H$  (campo magnético) e a direção de propagação são mutuamente perpendiculares;
- a fase dos campos  $E$  e  $H$  é a mesma, e o quociente da amplitude de  $E$  e  $H$  é constante através do espaço. No espaço livre (vácuo), o quociente  $E/H$  é igual a 377, que é o valor da impedância característica do espaço livre;

- a densidade de potência  $S$ , isto é, a potência por unidade de área normal à direção de propagação, está relacionada aos campos elétrico e magnético, pela expressão:

$$S = E.H = E^2/377 = 377.H^2 \quad (2)$$

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

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

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

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

$$J = \sigma.E, \quad (3)$$

onde  $\sigma$  é a condutividade elétrica do meio.

As quantidades dosimétricas geralmente usadas, levando em conta diferentes faixas de frequências e formas de ondas, são:

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

Um sumário geral das grandezas relacionadas com CEM e dosimetria é apresentado no Quadro 1.

Grandeza	Símbolo	Unidade
Condutividade	$\sigma$	Siemens por metro (S/m)
Corrente	$I$	Ampère (A)
Densidade da corrente	$J$	Ampère por metro quadrado (A/m <sup>2</sup> )
Frequência	$f$	Hertz (Hz)
Campo elétrico	$E$	Volt por metro (V/m)
Campo magnético	$H$	Ampère por metro (A/m)
Densidade de fluxo magnético	$B$	Tesla (T) ou Gauss (G)
Permeabilidade magnética	$\mu$	Henry por metro (H/m)
Permissividade	$\epsilon$	Farad por metro (F/m)
Densidade de Potência	$S$	Watt por metro quadrado (W/m <sup>2</sup> )
Absorção específica	SA	Joule por quilo (J/kg)
Taxa de absorção específica	SAR	Watt por quilo (W/kg)

Quadro 1 - Grandezas elétricas, eletromagnéticas e dosimétricas  
Fonte: ICNIRP, 1998

### 2.2.2 Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos

Os campos eletromagnéticos com frequência de até 300 GHz foram divididos em três grandes faixas, com relação aos efeitos biológicos. A primeira que vai até 100 kHz é chamada região de baixa frequência, a segunda, de 10 MHz até 300 GHz é a região de alta frequência, e a terceira engloba o intervalo entre essas duas faixas, indo de 100 kHz a 10 MHz. Para isso levou-se em consideração a predominância dos tipos de interações que ocorrem no corpo humano exposto em função da frequência dos CEM e, conseqüentemente, os diferentes efeitos biológicos nele produzidos. Dos três principais tipos de interação de campos elétricos oscilantes com o corpo humano resulta a indução de corrente elétrica, a formação de dipolos elétricos com a polarização de cargas ligadas e a reorientação de dipolos elétricos já presentes no corpo. Por outro lado, da interação de campos magnéticos oscilantes com o corpo humano resulta a indução de campos elétricos e fluxo de correntes elétricas circulantes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA, 2000).

Em corpos humanos expostos a CEM na faixa de frequência de 1 a 100 kHz, a indução de corrente elétrica é o principal mecanismo que, por sua vez, pode estimular principalmente as células nervosas do cérebro e os tecidos musculares do coração e pode também causar descargas elétricas. Isso naturalmente ocorre para campos intensos e são efeitos imediatos, isto é, são efeitos que surgem enquanto a pessoa estiver sendo exposta.

Um dos efeitos observados em voluntários expostos a campos magnéticos de frequência baixa com intensidade muito alta é a indução de fosfenos, que são sensações visuais brilhantes e oscilatórias, mesmo em olhos fechados. Os fosfenos são também induzidos comprimindo o globo ocular com a pálpebra fechada.



Os CEM aos quais as pessoas estão mais expostas no dia-a-dia, no trabalho ou em casa, são aqueles com frequência de 60 Hz, que são os CEM da rede de transmissão e de distribuição de energia elétrica. Eles existem nas proximidades de todos os equipamentos elétricos em funcionamento, como monitores de vídeo, de TV, rádio, geladeira, máquina de lavar roupa, aspirador de pó, secador de cabelo, barbeador elétrico etc. Como os campos elétricos de 60 Hz têm baixa capacidade de penetração, qualquer efeito biológico que porventura venha a resultar dos CEM de 60 Hz é tido como sendo devido principalmente a campos magnéticos.

Desde a publicação de um artigo em 1979 por Wertheimer e Leeper, relatando haver encontrado uma correlação entre os campos magnéticos de 60 Hz das linhas de transmissão da rede elétrica e a leucemia infantil, muitos artigos sobre esse tema têm sido publicados. Alguns pesquisadores relatam ter encontrado também correlação entre tumor maligno cerebral e outros tipos de câncer e CEM de 60 Hz, enquanto vários outros relatam a inexistência dessa correlação. Dessa forma, não há nada conclusivo até hoje. Se de fato houver qualquer correlação, esse tipo de efeito costuma aparecer muitos anos após a exposição, e são chamados efeitos tardios. Pesquisas realizadas em laboratórios até hoje não conseguiram demonstrar qualquer correlação entre esses campos e a formação de algum tipo de câncer, nem da estimulação de um câncer já existente, nem tampouco a formação de câncer via supressão imunológica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA, 2000).

Alguns pesquisadores apresentaram a hipótese de que pode ocorrer a diminuição da produção noturna do hormônio melatonina, pela glândula pineal, nas pessoas submetidas a CEM de 60 Hz. Esse hormônio regula o ritmo circadiano e ele foi usado entre 1970-1980 como agente anticancerígeno, mas acabou mostrando não ser efetivo. O uso desse agente em alguns pacientes havia sido motivado por terem observado que o nível de melatonina era mais baixo em pessoas com câncer do que em pessoas normais. Estudos recentes realizados com voluntários mostraram que não existe nenhuma correlação entre a exposição a campos magnéticos de 60 Hz e o nível noturno de melatonina no sangue (CAMARGO, 2005).

Uma pessoa, ao tocar um objeto metálico que ficou eletricamente carregado por estar dentro de CEM com frequência de até 100 kHz ou pelo fato de estar nas proximidades desse objeto pode receber um fluxo de carga elétrica, causando efeitos variados, dependendo da intensidade da corrente. Esses efeitos podem ser desde uma sensação de choque, passando por queimadura, dificuldade em respirar e até fibrilação ventricular, que é o batimento desordenado do coração quando uma corrente elétrica intensa passar através do coração.

Como complemento aos efeitos à saúde, o mais diretamente relacionado aos campos magnéticos é o da influência em marca-passos cardíacos (FRANÇA, 2003).

A operação do marca-passo pode ser prejudicada por determinados níveis de campos à frequência industrial (60 Hz) que podem ser encontrados tanto em trabalhos como nas proximidades de linhas de transmissão e subestações. A sensibilidade do marca-passo e a severidade dos efeitos dependem do projeto e do modelo. As interferências podem causar inibição do estímulo, deflagração inapropriada, reversão para modo assíncronico e aceleração indevida. As alterações podem ser transitórias ou permanentes e causar arritmias (FRANÇA, 2003).



Figura 2 - Exemplo de marca-passo  
Fonte: BIOTRONIK

### 2.2.3 Campos eletromagnéticos no sistema elétrico de potência

De acordo com a Norma Regulamentadora nº 10 (BRASIL, 2008c), o sistema elétrico de potência (SEP) é “o conjunto das instalações e equipamentos destinados à geração, transmissão e distribuição de energia elétrica até a medição, inclusive”.

Dentro do SEP, mais especificamente no sistema de transmissão, existem diversas variáveis que interagem com os campos elétricos e magnéticos. Estas variáveis estão indicadas no Quadro 2.

Variável do SEP	Campo elétrico	Campo magnético
Classe de tensão das estruturas	Dependente. Na medida em que se altera a tensão do circuito elétrico, a intensidade do campo aumenta ou diminui proporcionalmente no mesmo sentido.	Não depende.
Intensidade da corrente elétrica	Não depende.	Dependente. Na medida em que se altera a intensidade de corrente do circuito elétrico, a densidade do fluxo magnético aumenta ou diminui proporcionalmente no mesmo sentido.
Configuração física da linha	As sequências de fase e o tipo de montagem da estrutura interagem na intensidade do campo resultante em um sistema trifásico. A distância entre os condutores (fase-fase) atenua a intensidade do campo resultante no sistema trifásico.	
Distância do trabalhador em relação à linha	O valor da distância determina intensidade.	

Quadro 2 - Interação entre as variáveis do SEP e os CEM  
Fonte: KISCH, 2008

## 2.3 Organizações internacionais e limites de exposição

A seguir, são apresentadas as principais organizações internacionais que possuem normas elaboradas sobre a exposição aos campos eletromagnéticos

### 2.3.1 Cenelec

O Cenelec - Comité Européen de Normalisation Électrotechnique é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 1973, sob a legislação belga. Através da Diretiva 83/189/EEC, foi oficialmente reconhecido pela Comissão Europeia como a organização de normalização da Europa no campo da eletrotécnica.

O Cenelec publicou em 1995 a *Pre-standard ENV 50166-1 – Human exposure to electromagnetic fields – low frequency (0 Hz a 10 kHz)*, que estabelece limites de exposição com base em efeitos de curta duração, correlacionando a densidade de corrente induzida pelos campos no corpo humano e seus efeitos em funções do sistema nervoso. Devido à dificuldade de se realizar medições de densidades de correntes induzidas, as grandezas utilizadas pelo Cenelec para estabelecer os limites de exposição são o campo elétrico e a densidade de fluxo magnético, que são relacionados à densidade de corrente no corpo por modelagem matemática e por extrapolação de resultados de investigações em laboratório (LOPES, 2007).

### 2.3.2 IEC

A IEC – International Electrotechnical Commission foi oficialmente fundada em junho de 1906, em Londres, e representou a concretização de uma aspiração resultante do Congresso Internacional de Eletricidade, realizado em setembro de 1904 em Saint Louis, nos EUA.

A IEC recentemente criou novos comitês técnicos, como o TC 106 para métodos para avaliação de campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos associados à exposição humana, com o objetivo de preparar normas sobre a metodologia de medição e cálculo na faixa de 0 a 300 GHz. Porém, não almeja estabelecer limites de exposição e métodos de mitigação dos campos. Suas principais tarefas são (LOPES, 2007):

- caracterizar o ambiente eletromagnético considerando a exposição humana;
- elaborar métodos, instrumentação e procedimentos de medição;
- elaborar métodos de cálculos e de avaliação da exposição produzida por fontes específicas;
- fixar padrões básicos para outras fontes; e
- avaliar incertezas.

### 2.3.3 IEEE

O IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers é uma associação técnica profissional sem fins lucrativos que reúne mais de 380 mil membros em 150 países. A entidade é uma autoridade líder em áreas técnicas que abrangem, entre outras, engenharia de computadores, tecnologia biomédica, telecomunicações, eletrotécnica, tecnologia aeroespacial e equipamentos eletroeletrônicos.

Em 1999, o IEEE publicou a revisão da norma *Std C95.1 – Standard for safety levels with respect to human exposure to radio-frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*, estabelecendo limites de segurança para exposição humana a CEM nesta faixa de frequência. Já em 2002, publicou a revisão da norma *Std C95.6 - Standard for safety levels with respect to human exposure to radio-frequency electromagnetic fields, 0 to 3 kHz*, baseada nos resultados de avaliação da literatura científica relevante e em efeitos comprovados, para os quais estão compreendidos limiares de reação. Os limites de campos são obtidos a partir dos limites de densidade de corrente ou campos elétricos internos (LOPES, 2007).

#### 2.3.4 ACGIH

A ACGIH – American Conference of Governmental Industrial Hygienists foi fundada em 1938 com a missão de elevar a saúde e segurança do trabalhador através da educação e do desenvolvimento e disseminação do conhecimento técnico e científico. Desde sua primeira reunião, criou comitês permanentes encarregados de encaminhar assuntos de higiene industrial, como normas técnicas, uniformização de relatórios de doenças ocupacionais e outras moléstias entre trabalhadores, código de saúde industrial, etc (LOPES, 2007).

Atualmente, 12 comitês da ACGIH estão focando suas ações em diferentes temas como, por exemplo: saúde e segurança na agricultura, agentes infecciosos, índices de exposição biológica, valores limites de tolerância de substâncias químicas e de agentes físicos.

Dentre os limites de exposição publicados pela entidade, estão os valores de exposição em situações ocupacionais para campos elétricos e magnéticos, que são reconhecidos e adotados pelos países associados, caso do Brasil atualmente.

### 2.3.5 ICNIRP

A ICNIRP – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection foi criada em maio de 1992 como organização científica internacional independente, durante o 8º Congresso Internacional da IRPA – International Radiation Protection Association. É a sucessora do INIRC – International Non Ionizing Radiation Committee, fundado em 1977 pela própria IRPA, que publicou o documento *Interim Guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields*, revisando o *Environmental health criteria 35 – Extremely low frequency fields*, publicado pela OMS em 1984. Suas funções são: investigar os perigos associados a diferentes formas de radiações não-ionizantes, desenvolver diretrizes internacionais sobre limites de exposição e tratar de aspectos de proteção a essas radiações (LOPES, 2007).

Em 1998, a ICNIRP revisou estudos anteriores e publicou seu *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, que estabelece limites para a exposição humana a campos elétricos e magnéticos para frequências de 0 até 300 GHz. Essas diretrizes foram baseadas em uma detalhada revisão de toda a literatura científica sobre efeitos biológicos provocados pela exposição de seres vivos a campos elétricos e magnéticos, incluindo efeitos térmicos e não-térmicos. Em 2001, após nova revisão, a ICNIRP manteve os limites anteriormente publicados.

Para estabelecer os limites recomendados em suas diretrizes, a ICNIRP utiliza as seguintes bases, conforme consta em seu *Guidelines* (ICNIRP, 1998):

Estas diretrizes para limitação da exposição foram desenvolvidas após uma análise abrangente de toda a literatura científica publicada. Os critérios aplicados durante a revisão foram desenvolvidos para avaliar a credibilidade dos vários resultados relatados, e somente efeitos estabelecidos foram usados como base para as restrições da exposição propostas. A indução de câncer pela exposição de longa duração a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos não foi considerada estabelecida. Por essa razão, estas diretrizes são baseadas em efeitos na saúde de caráter imediato, a curto prazo. No caso dos efeitos potenciais da exposição a longo prazo, a ICNIRP concluiu que os dados disponíveis são insuficientes para prover uma base para fixar restrições à exposição, embora pesquisas epidemiológicas tenham produzido evidências sugestivas, mas não convincentes, de uma associação entre possíveis efeitos carcinogênicos e a exposição a densidade de fluxo magnético de 50/60 Hz em níveis substancialmente inferiores aos recomendados nestas diretrizes.

A ICNIRP estabelece limites diferentes para a população ocupacional e o público em geral, pois considera que os trabalhadores estão geralmente expostos a condições conhecidas e são treinados sobre riscos potenciais e precauções apropriadas. Por outro lado, o público em geral não tem consciência desta exposição, e é constituído por pessoas de todas as idades e estados de saúde, podendo incluir indivíduos mais suscetíveis aos campos elétricos e magnéticos. Por isso, os limites de exposição do público em geral são mais rigorosos.

A base científica para o desenvolvimento das restrições para a exposição a campos na faixa de frequência entre 1 e 10 MHz está na relação entre a densidade de corrente induzida pelos campos no corpo humano e seus efeitos em funções do sistema nervoso. O fator de segurança utilizado para exposição ocupacional em frequências de 4 Hz a 1 kHz é 10, resultando em uma densidade de corrente máxima de 10 mA/m<sup>2</sup>. Para a exposição do público em geral foi adotado um fator de 50 e uma densidade de corrente máxima de 2 mA/m<sup>2</sup>.



### 2.3.6 Comparação entre as organizações

A Tabela 1 mostra a comparação entre os limites de exposição ocupacional, recomendados por cada uma das entidades listadas anteriormente, para campos elétricos e magnéticos de 60 Hz.

Tabela 1 - Limites de exposição ocupacional a CEM de 60 Hz

Organização	Limite de campo elétrico (kV/m)	Limite de densidade de fluxo magnético (mG)
Cenelec	25	13330
IEC	-	-
IEEE	20	27100
ACGIH	25	10000
ICNIRP	8,33	4170

Fonte: CARMAGO, 2005

## 2.4 Normatização brasileira

Como indicado anteriormente, diversas organizações internacionais têm emitido regulamentações estabelecendo limites para a exposição de pessoas a campos elétricos e magnéticos, tanto para a população em geral quanto para os trabalhadores.

Algumas das publicações sobre o assunto existentes no Brasil estão indicadas a seguir.

#### 2.4.1 NBR 5422

A NBR 5422 – *Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica*, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece limites de campo elétrico para linhas de alta tensão acima de 69 kV, mas não define parâmetros para campos magnéticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1985).

#### 2.4.2 Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego

A NR-9 – *Programa de prevenção de riscos ambientais* é uma norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego destinada à preservação da saúde e da integridade dos trabalhadores, que considera como riscos ambientais os agentes químicos, biológicos e físicos (caso das radiações eletromagnéticas).

Em seu item 9.3.5, sobre Medidas de Controle, a norma dispõe o seguinte:

9.3.5.1 - Deverão ser adotadas as medidas necessárias e suficientes para a eliminação, a minimização ou o controle dos riscos ambientais sempre que forem verificadas uma ou mais das seguintes situações:

a - ...

b - ...

c - quando os resultados das avaliações quantitativas da exposição dos trabalhadores excederem os valores dos limites previstos na NR-15 ou, na ausência destes, os valores de limites de exposição ocupacional adotados pela ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ou aqueles que venham a ser estabelecidos em negociação coletiva de trabalho, desde que mais rigorosos do que os critérios técnico-legais estabelecidos. (BRASIL, 2008a)

Como a NR-15 – *Atividades e operações insalubres*, de acordo com seu Anexo nº 7, não considera insalubres as atividades desenvolvidas por trabalhadores em redes elétricas e também não fixa limites de exposição para campos eletromagnéticos em 60 Hz, os valores a serem seguidos são aqueles indicados pela ACGIH (BRASIL, 2008b).

Na NR-10 – *Segurança em instalações e serviços em eletricidade*, nada é dito a respeito da exposição dos trabalhadores de sistemas de alta tensão aos CEM. Porém, os escopos mínimos dos cursos básico e complementar da norma indicam os campos elétricos e magnéticos como assunto obrigatório (BRASIL, 2008c).

#### 2.4.3 NBR 15415

A NBR 15415 – *Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz* utilizou como referência normativa a IEC 61786 de 1998, que trata da metodologia, instrumentação e medição de campos elétricos e magnéticos de baixa frequência, sendo que os limites de exposição foram tomados da ICNIRP.

A norma aplica-se a todas as instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em 50 ou 60 Hz, acima de 1 kV. Porém, estabelece os níveis de referência apenas para o público em geral (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006).

#### 2.4.4 Lei nº 11.934 de 05 de maio de 2009

Esta lei visa estabelecer limites para exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos associados ao funcionamento de estações transmissoras de radiocomunicação, de terminais de usuário e de sistemas de energia elétrica nas faixas de frequências até 300 GHz, de forma a garantir a proteção da saúde e do meio ambiente (BRASIL, 2009).

Em seu artigo 2º, esta deixa claro que os limites estabelecidos referem-se à exposição da população em geral e de trabalhadores aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.

Além disso, enquanto não forem estabelecidas novas recomendações pela Organização Mundial de Saúde, serão adotados os limites da ICNIRP.

Até a finalização deste trabalho, esta lei ainda não havia sido regulamentada, o que deverá ser realizado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), órgão responsável pela regulamentação do setor elétrico.

## 2.5 Projeto EMF-SP

Este projeto teve como objetivo desenvolver no Estado de São Paulo estudos epidemiológicos sobre campos elétricos e magnéticos na frequência de 60 Hz, gerados por sistemas de energia elétrica, quanto à exposição ocupacional ou do público em geral, através da aplicação ao contexto brasileiro de protocolos de pesquisa reconhecidos internacionalmente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA, 2008).

Para isso, foram investigadas as situações patológicas com maior possibilidade de associação causal entre exposição a campos de 60 Hz de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia e riscos à saúde.

O projeto contou 8 linhas de pesquisas, a saber (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA, 2008):

- LPA - Gerência do Projeto;
- LPB - Assessoria Científica Internacional;
- LPC - Estudo de caso/controle: campos magnéticos a 60 Hz e leucemia infantil;
- LPD - Estudo ecológico: campos magnéticos a 60 Hz e doenças em adultos;
- LPE - Estudo Ocupacional: campos magnéticos a 60 Hz e acidentes de trabalho;
- LPF - Estudo de percepção de risco;
- LPG - Medição de campos eletromagnéticos a 60 Hz;
- LPH - Caracterização de campos magnéticos a 60 Hz.

Na linha de pesquisa referente à exposição ocupacional, o objetivo perseguido foi

desenvolver um instrumento de avaliação de exposição ocupacional e acompanhamento de efeitos à saúde e ocorrência de acidentes do trabalho, tendo como público alvo estimado em 2.500 eletricitários das principais concessionárias do Estado de São Paulo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA, 2008).

Para tanto, foi desenvolvida uma ferramenta denominada MEO – Matriz de Exposição Ocupacional.

A MEO é uma avaliação qualitativa da exposição de trabalhadores a campos magnéticos que, para isso, utiliza uma escala de grau de exposição e alguns cenários típicos do setor elétrico, notadamente na parte de Distribuição de energia elétrica. Seu desenvolvimento possui as seguintes limitações (KISCH, 2008):

- circuitos elétricos das concessionárias que apresentam a curva de carga semelhante à curva de carga padrão estabelecida pela ANEEL;
- jornada de trabalho de 40 horas semanais;
- exclusão de sábados e domingos por apresentarem curvas de carga específicas;
- aplicação da metodologia somente para indivíduos do sexo masculino.

Para determinar o grau de exposição dos trabalhadores, o grupo responsável por esta linha de pesquisa desenvolveu a seguinte fórmula, cujas variáveis partem de tabelas previamente consolidadas (KISCH, 2008):

$$Exposição = \frac{1}{4608} \cdot \sum_i E_i \cdot M_i \cdot F_i \cdot T_i \quad (4)$$

onde:

E = componente elétrico da exposição;

M = componente magnético da exposição;

F = frequência da exposição;

T = peso relativo ao tempo de exposição;

i = denota cada uma das atividades laborais exercidas pelo trabalhador cuja exposição está sendo estimada.

A Tabela 2 mostra os valores obtidos pelas medições realizadas de acordo com a classe de tensão.

Tabela 2 - Distribuição dos valores obtidos em função da tensão da rede

Tensão entre fases (V)	Intervalo de confiança (%)	Média (mG)	Intervalo (mG)	Tamanho da amostra
88000	95	258,58	(214,59 - 302,58)	68
380 e 13800	95	13,78	(12,53 - 15,03)	1110
220 e 11900	95	7,97	(7,46 - 8,48)	464
138000 e 11900	95	261,53	(235,40 - 287,65)	60
13800	95	152,64	(146,65 - 158,62)	8183
11900	95	217,43	(210,49 - 224,37)	10807

Fonte: KISCH, 2008

Com estes resultados, pode-se observar que em nenhum dos casos o limite de 4170 mG é ultrapassado. Além disso, quando na mesma estrutura existe rede primária e rede secundária, o valor da densidade do fluxo magnético é sensivelmente atenuada.

## **2.6 Serviços em linhas de transmissão energizadas**

Com a implantação de sistemas de transmissão com tensões cada vez mais elevadas, foi possível transmitir grandes blocos de potência por um número cada vez menor de linhas. Como a operação contínua das linhas é muito importante para a confiabilidade do sistema, tornou-se então necessário estabelecer um programa de manutenção com a linha energizada, de modo a não interromper a continuidade do serviço. Um dos métodos desenvolvidos para este tipo de manutenção é denominado Método ao Potencial, o qual será detalhado a seguir.

### **2.6.1 Método ao potencial**

Este método tem por finalidade permitir maiores recursos na manutenção, principalmente em linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão, onde as distâncias de segurança são maiores.

O trabalhador fica em contato direto com a tensão da rede, no mesmo potencial. Dessa forma, é necessário o emprego de medidas de segurança que garantam o mesmo potencial elétrico no corpo inteiro do trabalhador, devendo ser utilizado conjunto de vestimenta condutiva (roupas, capuzes, luvas e botas), ligada através de cabo condutor elétrico e cinto à rede objeto da atividade (RITZ DO BRASIL, 2007).

Além disso, são necessários treinamento e condicionamento específicos dos trabalhadores para este tipo de serviço.

#### 2.6.2 Procedimento para manutenção em condutores e espaçadores

A CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, possui uma norma denominada *INSTRUÇÃO TM-015/01 - Manutenção de Instalações Energizadas*, que traz o procedimento para atuação em linhas de transmissão e subestações, visando à segurança do trabalhador e à eficácia do serviço.

Para exemplificar um serviço realizado em linha de transmissão energizada, será descrito a seguir o procedimento para manutenção em condutores e espaçadores, de acordo com o Fascículo 4.10 da Instrução TM-015/01.

##### 2.6.2.1 Equipe e tempo de execução

São necessários cinco eletricitas (três sobre a estrutura e dois no solo) e o tempo médio para intervenção em cada vão da linha é de 1 hora.

##### 2.6.2.2 Uniformes e equipamentos de proteção individual

As peças do uniforme e equipamentos de proteção individual de um eletricitista de manutenção de linhas energizadas são os seguintes:



- Capacete aba total com jugular;
- Botas condutivas e botas não condutivas;
- Calça;
- Camisa;
- Jaqueta;
- Luvas de vaqueta;
- Cinto de segurança tipo pára-quedista;
- trava-quedas;
- talabarte ajustável;
- óculos escuros;
- protetor labial;
- gancho de deslocamento horizontal.

Além destes, deve existir no local um mínimo de 02 vestimentas condutivas (meias, luvas, calça, jaqueta e capuz de tecido condutivo), sendo uma reserva da outra.

#### 2.6.2.3 Passo a passo

As etapas que devem ser seguidas para a realização deste serviço estão indicadas a seguir.

Para facilitar a identificação dos membros da equipe, os 3 eletricitistas que estão na estrutura foram denominados como **A**, **B** e **C** e, os 2 eletricitistas no solo, como **D** e **E**.

##### a. Executar pré-montagem no solo

Os eletricitistas devem descarregar o material da carreta de linha viva, e executar a pré-montagem do conjunto cadeirinha, bastão tração e moitão no solo.

Antes de cada serviço, os equipamentos são limpos e testados (principalmente os bastões), de forma a garantir que não haja perda de isolamento.

b. Escalar a estrutura e instalar a corda de segurança e a carretilha

O eletricitista **A** deve escalar a estrutura até a sua metade, levando consigo a corda de segurança presa ao conjunto bastão e gancho de escalada.

Em seguida, o eletricitista **B** deve escalar toda a estrutura, levando as cordas de segurança e de serviço. O eletricitista **A** deve auxiliar a escalada do eletricitista **B**, aliviando o peso das cordas, conforme indicado na Figura 3.



Figura 3 - Escalada dos eletricitistas A e B, levando a corda de segurança e corda de serviço  
Fonte: CTEEP, 2001

Depois de fixada a corda de segurança, o eletricitista **A** deve concluir a escalada da estrutura.

c. Vestir roupa condutiva

O eletricitista **C** deve vestir a roupa condutiva, conforme Figura 4, e escalar a estrutura.

Para se proteger contra os efeitos dos campos elétricos, o eletricitista usa uma vestimenta condutiva fabricada em tecido especial, que veste o seu corpo deixando apenas a face descoberta. Quando próximo do condutor energizado, o eletricitista conecta esta vestimenta ao condutor, e então estará no mesmo potencial da instalação (RITZ DO BRASIL, 2007).

O funcionamento da vestimenta condutiva é baseado no princípio da Gaiola de Faraday, tornando seguros e confortáveis os trabalhos de manutenção em sistemas energizados.

Um exemplo de fornecedor destas roupas é a RITZ DO BRASIL, cujas vestimentas atendem os requisitos da norma IEC 60895 e possui Certificado de Aprovação no Ministério do Trabalho e Emprego.



Figura 4 - Eletricista C com a vestimenta condutiva preparado para escalar a estrutura  
Fonte: CTEEP, 2001

d. Içar equipamentos

Os eletricistas **D** e **E**, que estão no solo, devem içar para os eletricistas **A** e **B** o conjunto cadeirinha, bastão tração e moitão fechado, juntamente com o balde de lona.

e. Sair na cadeirinha e arriar o moitão para execução do rabicho

Com a cadeirinha na posição adequada, o eletricista **C** deve passar o talabarte na mesma, retirar o talabarte da estrutura com o gancho e sair sobre a cadeirinha.

Os eletricistas **D** e **E** devem aliviar a corda do moitão até que este fique na altura dos eletricistas **A** e **B**, para possibilitar a execução do rabicho, conforme Figura 5.



Figura 5 - Saída do eletricitista C sobre a cadeirinha e posicionamento do moitão para fixação do rabicho  
Fonte: CTEEP, 2001

f. Executar rabicho para deslocamento da cadeirinha

Com o eletricitista **C** sobre a cadeirinha, o eletricitista **A** deve preparar a corda do rabicho (Figura 6), pegando uma das pontas da corda de serviço, passando pela carretilha e amarrando nos olhais dos bastões tração.

O eletricitista **D** deve fazer um revio dessa corda no pé da estrutura, com o auxílio de um moitão.



Figura 6 - Eletricitistas A e B executando o rabicho para saída na fase lateral ou central  
Fonte: CTEEP, 2001

g. Levar o eletricitista ao potencial

O eletricitista **C** é levado em direção à fase através do controle simultâneo das cordas do moitão e do rabicho, feito pelos eletricitistas **D** e **E**.

A corda do moitão tem a finalidade de arriar a cadeirinha, enquanto a corda do rabicho, de direcionar a cadeirinha até a fase a ser trabalhada.

Chegando próximo a fase, o eletrícista **C** deve equalizar o potencial através do bastão equalizador, como pode ser visto na Figura 7.

Em todas as atividades a serem feitas sobre o(s) cabo(s) condutor(es), o eletrícista deve ficar sempre com os dois talabartes passados no(s) cabo(s), ou seja, um abdominal e outro com o gancho de deslocamento horizontal.



Figura 7 - Detalhe da entrada do eletrícista C equalizando o potencial e subindo sobre os cabos da fase lateral  
Fonte: CTEEP, 2001

h. Suspender a cadeirinha e içar o bastão tração com a bicicleta

Após liberada a cadeirinha, os eletrícistas **D** e **E** devem içá-la, e o eletrícista **A** deve retirar a corda das carretilhas, mantendo, porém, estas instaladas na estrutura para continuar usando a corda para içamento dos materiais.

Os eletrícistas **D** e **E** devem conectar dois bastões tração com olhal e gancho na bicicleta, sendo que em um dos bastões deve ser conectada uma corda de comprimento suficiente entre a fase e o solo. Em seguida, deve-se içar o conjunto para os eletrícistas **A** e **B**.

O eletrícista **A** deve, então, levar a bicicleta até o eletrícista **C** através da corda de serviço, como mostrado na Figura 8.



Figura 8 - Eletricista A levando a bicicleta até o eletricista C  
Fonte: CTEEP, 2001

i. Instalar a bicicleta sobre os cabos condutores

Após receber a bicicleta, o eletricista **C** a instala (Figura 9) apoiando as suas rodas sobre os cabos condutores. A bicicleta deve ser amarrada no cabo com um estropo de corda, de modo a mantê-la freada.

Com o talabarte e o gancho passados sobre os cabos condutores, o eletricista **C** pode sair sobre a bicicleta.



Figura 9 - Recebimento e instalação da bicicleta pelo eletricista C  
Fonte: CTEEP, 2001

j. Deslocar sobre a fase e realizar o serviço

Ao se posicionar sobre a bicicleta, o eletricitista **C** deve retirar o estropo do cabo, a fim de liberar o seu movimento.

No chão, os eletricitistas **D** e **E** devem se deslocar ao longo do vão, puxando a corda presa ao bastão conectado a bicicleta. Todo o translado deve ser feita com o gancho de deslocamento horizontal e talabarte passados sobre um dos cabos condutores, como indicado na Figura 10.



Figura 10 - Deslocamento do eletricitista C sobre os cabos condutores  
Fonte: CTEEP, 2001

Chegando ao espaçador, o eletricitista **C** deve amarrar a bicicleta no cabo (Figura 11), de modo a mantê-la freada, e instalar o espaçador novo bem próximo do existente.



Figura 11 - Posição de trabalho para troca do espaçador  
Fonte: CTEEP, 2001



Com isso, deve-se retirar o espaçador danificado, sair da bicicleta e, em pé sobre o cabo, transpor o espaçador instalado (figuras 12 e 13).

Depois, deve-se sentar sobre a bicicleta e continuar o deslocamento sobre o cabo.



Figura 12 - Passagem da bicicleta sobre o espaçador  
Fonte: CTEEP, 2001



Figura 13 - Passagem do eletrcista C sobre o espaçador  
Fonte: CTEEP, 2001

k. Sair do potencial, descer equipamentos e ferramentas

As manobras visando à saída do eletrcista do potencial e a retirada e descida dos equipamentos e ferramentas devem obedecer a sequência inversa dos procedimentos anteriormente descritos.



#### 2.6.2.4 Riscos associados

É interessante notar na instrução técnica da CTEEP que, a cada passo do serviço a ser realizado, são indicados os riscos aos quais os eletricitistas estão expostos, os quais são mostrados no Quadro 3.

Etapa do procedimento	Riscos associados
Executar pré-montagem no solo	-
Escalar a estrutura e instalar a corda de segurança e a carretilha	Queda do eletricitista
Vestir roupa condutiva	Queda do eletricitista
Içar equipamentos	Queda de objetos
Sair na cadeirinha e arriar o moitão para execução do rabicho	Queda do eletricitista
Executar rabicho para deslocamento da cadeirinha	Queda do eletricitista
Levar o eletricitista ao potencial	Queda do eletricitista e descarga elétrica
Suspender a cadeirinha e içar o bastão tração com a bicicleta	Queda de objetos, queda do eletricitista e descarga elétrica
Instalar a bicicleta sobre os cabos condutores	Queda de objetos e queda do eletricitista
Deslocar sobre a fase e realizar o serviço	Queda de objetos e queda do eletricitista
Sair do potencial, descer equipamentos e ferramentas	Queda de objetos, queda do eletricitista e descarga elétrica

Quadro 3 - Riscos associados  
Fonte: CTEEP, 2001

Com o descrito no Quadro 3, pode-se observar que os possíveis riscos associados aos campos magnéticos não são levados em consideração nesta instrução técnica.

No caso do campo elétrico, com o uso da roupa condutiva, o eletricitista que está diretamente no potencial consegue blindar o campo gerado pelos cabos.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para realização deste trabalho está baseada em:

- pesquisa através da internet de artigos nacionais e internacionais;
- contato com associações que realizam pesquisas a respeito, como a ABRICEM;
- coleta de informações e dados em empresas transmissoras de energia, como a CTEEP;
- coleta de informações e dados em fornecedores de equipamentos, como a RITZ DO BRASIL;
- visita técnica à FUNDACENTRO para esclarecimentos sobre o tema;
- cálculo teórico do campo magnético em uma linha de transmissão;
- análise de medições de campo magnético em uma linha de 88 kV do estado de São Paulo.

## 4 RESULTADOS

Como visto anteriormente, as preocupações a respeito da exposição se concentram nos campos magnéticos, visto que o campo elétrico é facilmente blindado pela roupa condutiva.

A fim de exemplificar valores de campos a que um trabalhador realizando um serviço ao potencial em uma linha de transmissão poderá estar exposto, será apresentado um cálculo teórico de um circuito hipotético e uma medição realizada em uma linha de 88 kV no estado de São Paulo para o Projeto EMF-SP.

### 4.1 Cálculo teórico

Foram realizados cálculos de campo magnético desde a superfície do cabo até um raio de 1 metro do mesmo.

Como o vão de uma linha de transmissão de tensão é relativamente grande, para efeito de cálculo o condutor pode ser considerado retilíneo, conforme Figura 14. Além disso, foram desconsideradas quaisquer outras fontes de radiação que podem ser encontradas próximas as linhas.

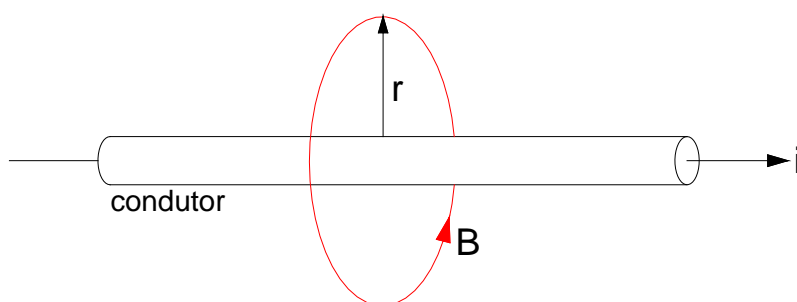


Figura 14 - Campo magnético em um condutor retilíneo  
Fonte: Autora

A densidade de fluxo magnético pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (5)$$

onde:

B = densidade de fluxo magnético;

$\mu$  = permeabilidade magnética;

i = corrente no condutor;

r = distância radial.

A linha considerada possui um carregamento nominal de 2000 A, sendo que os cálculos foram feitos para 25, 50, 75 e 100 % da sua capacidade. Os resultados encontrados estão indicados no Gráfico 1.

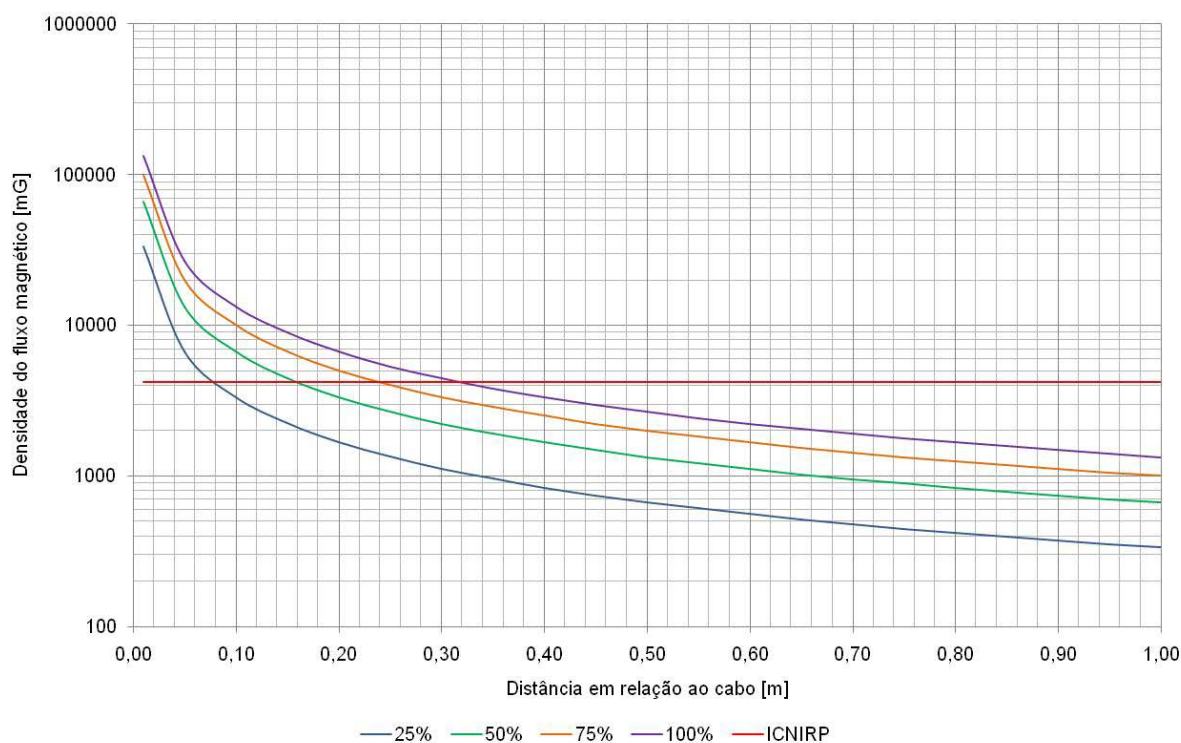


Gráfico 1 - Distância versus densidade de fluxo magnético  
Fonte: Autora

Como pode ser observado no Gráfico 1, em distâncias menores que 32 cm o campo magnético ultrapassa o limite recomendado pela ICNIRP para exposição ocupacional. A Tabela 3 indica os raios em torno do cabo onde a densidade de campo magnético é maior ou igual a 4170 mG para cada um dos carregamentos estudados.

Tabela 3 - Distância limite para densidade de fluxo magnético de 4170 mG

Carregamento (%)	Distância em relação ao cabo (m)
25	0,08
50	0,16
75	0,24
100	0,32

Fonte: Autora

Observando as fotos que ilustram o procedimento de troca de espaçadores utilizando o método ao potencial, pode-se dizer que o trabalhador que realiza este tipo de serviço poderá estar exposto a valores de campos magnéticos acima dos limites recomendados pela ICNIRP, pois ele fica diretamente em contato com o condutor.

Como o valor do campo magnético depende diretamente da corrente que passa pela linha, uma das opções para se evitar esta situação seria programar os serviços de manutenção para horários em que o carregamento da linha seja o menor possível. Porém, esta é uma tarefa bastante complicada devido à complexidade e a variação de configuração dos circuitos do sistema elétrico nacional.

## 4.2 Medição

Uma empresa de Distribuição fez uma medição de densidade de fluxo magnético em uma de suas linhas de 88 kV para o Projeto EMF-SP, citado no item 2.5 desta monografia.

A configuração da torre desta linha de transmissão está mostrada na Figura 15.

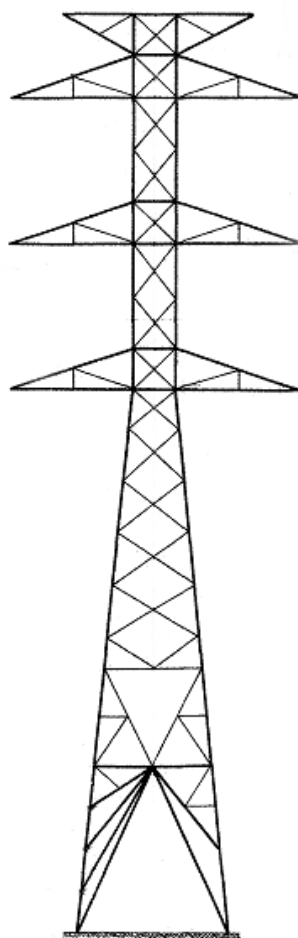


Figura 15 - Torre da linha de transmissão  
Fonte: Autora

A medição durou uma hora e quarenta e seis minutos e foi realizada durante um serviço de substituição de cadeia de isoladores. A distância do eletricitista ao cabo da fase mais próxima variou de 1,50 a 10 metros.

O Gráfico 2 mostra os valores obtidos durante todo o período da medição. Pode-se observar neste gráfico como a densidade de fluxo magnético é variável. O valor máximo obtido foi 715,20 mG a 1,50 m da fase mais próxima. A média de todo o período da medição foi de 266,09 mG.

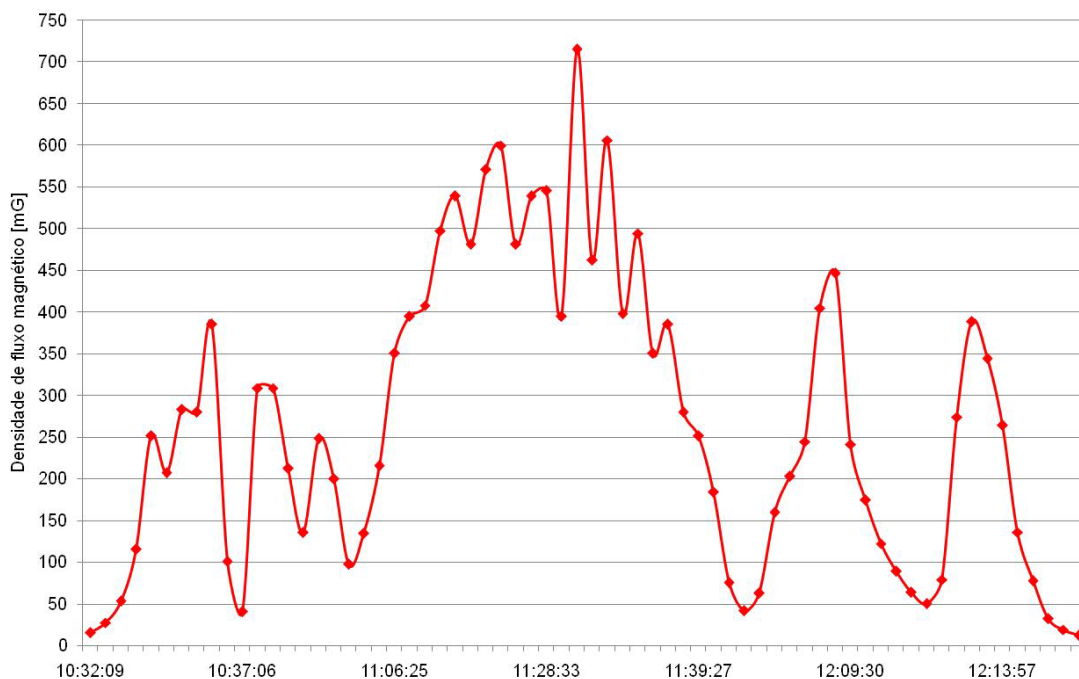


Gráfico 2 - Densidade de fluxo magnético medida  
Fonte: Autora

Já o Gráfico 3 traz a média da densidade de fluxo magnético encontrada de acordo com a distância na qual foi realizada a medição.

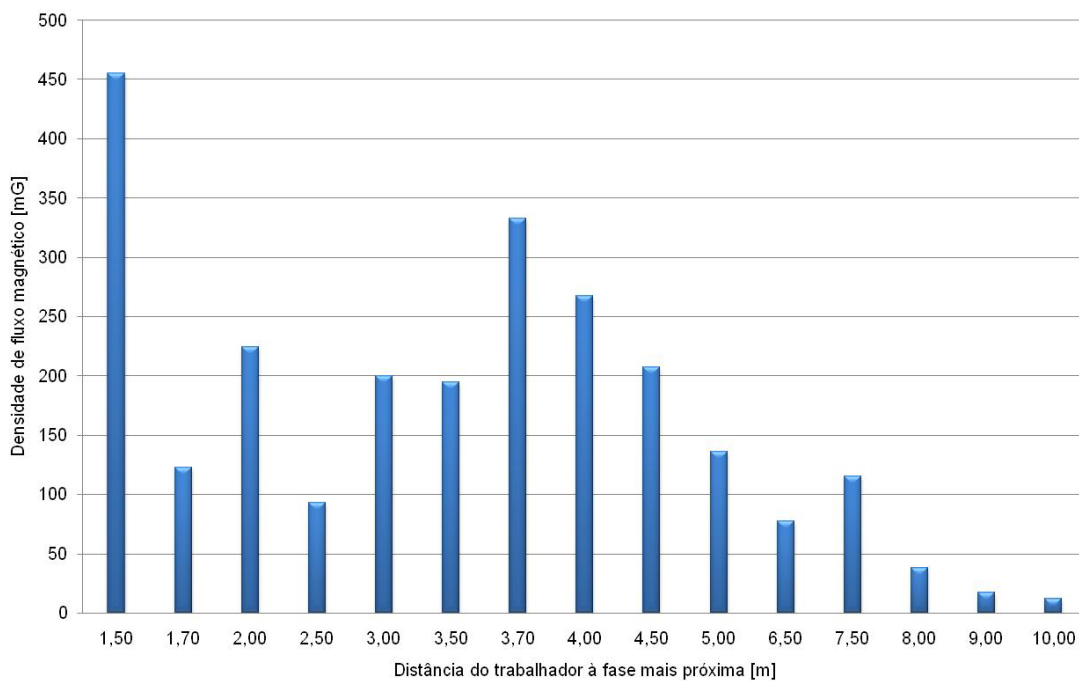


Gráfico 3 - Densidade de fluxo de magnético de acordo com a distância  
Fonte: Autora

Apesar da densidade de fluxo magnético diminuir com o aumento da distância em relação à fonte, ao se calcular a média dos valores obtidos na medição observa-se que esta regra não é seguida. Por isso, ao se tomar valores de campo magnético ou densidade de fluxo magnético, faz-se necessário conhecer como eles foram colhidos, para que não haja comprometimento da análise.



## 5 DISCUSSÃO

Apesar da grande quantidade de literatura que se encontra a respeito dos efeitos dos campos eletromagnéticos de 60 Hz, mais para a população em geral que para público ocupacional, não se consegue chegar a uma conclusão sobre a exposição a este tipo de radiação. As publicações internacionais a este respeito são divergentes quanto ao limite de exposição dos trabalhadores e as pesquisas já realizadas são discordantes umas das outras em relação ao efeito biológico.

Os limites de exposição indicados pela ICNIRP que, como dito anteriormente, são aqueles indicados pela OMS, são valores instantâneos, ou seja, não levam em consideração o tempo e a frequência da exposição do trabalhador aos CEM de frequência extremamente baixa. Assim, não existe o conceito de dose nos limites de referência, o que dificulta a avaliação da exposição a longo prazo, com possível efeito cumulativo.

Deveriam ser realizados mais estudos visando verificar se é plausível introduzir o conceito de dose no que se refere à exposição ocupacional. Em um sistema elétrico diferenciado como o brasileiro, onde o carregamento das linhas se modifica de hora em hora e a configuração das linhas muda de região para região, este conceito talvez fosse melhor aproveitado para a indicação dos valores a que o trabalhador pode ficar exposto sem efeitos danosos à saúde.

Assim, o Engenheiro de Segurança do Trabalho deve ficar atento às novas pesquisas relacionadas aos riscos advindos dos campos eletromagnéticos. Apesar de não existir consenso sobre os malefícios da exposição aos CEM, existem limites de referência que devem ser observados e respeitados.

Também se torna de extrema importância fazer com que informações sobre os campos eletromagnéticos cheguem aos trabalhadores, de forma que possíveis dúvidas sejam dirimidas e não haja receio ao se realizar qualquer tipo de serviço.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho identificou, através de uma revisão de literatura, os riscos relacionados aos campos eletromagnéticos, os valores limites recomendados por entidades nacionais e internacionais bem como as normas aplicáveis ao assunto.

No Brasil, os valores recomendados pela ACGIH são os que devem ser atendidos, conforme disposto na Norma Regulamentadora nº 15, pelo menos até a regulamentação da Lei nº 11.934/2009, quando os valores adotados passarão a ser aqueles indicados pela ICNIRP. Porém, nada impede que, através de acordos trabalhistas e pesquisas, se adote valores mais restritivos.

Através de um cálculo teórico, foi possível mostrar que podem existir situações onde o trabalhador que realiza serviços através do método ao potencial fica exposto a valores acima dos limites recomendados. Isso pode causar ao trabalhador problemas como a indução de corrente elétrica no corpo. Mas, de acordo com as pesquisas realizadas em todo o mundo, não há nada conclusivo a respeito dos riscos da exposição a campos de baixa frequência.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA. **Diretrizes gerais para exposição a campos elétricos e magnéticos**. São Paulo. 2000. CD-Rom.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA. Projeto EMF-SP. Disponível em: <<http://www.emf-sp.com.br/portugues/index.php>>. Acesso em: 15 out. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5422: Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica**. Rio de Janeiro. 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15415: Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60 Hz**. Rio de Janeiro. 2006.
- BIOTRONIK COMERCIAL MÉDICA LTDA. Disponível em: <<http://www.biotronik.com/pt/br/home>>. Acesso em: 15 jun. 2009.
- BRASIL. Lei nº 11.934, de 05 de maio de 2009. Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L11934.htm](http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11934.htm)>. Acesso em: 01 jun. 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade. In: \_\_\_\_\_ **Segurança e Medicina no Trabalho**. 62ª Edição. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008c. p. 99-110.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-15 - Atividades e operações insalubres. In: \_\_\_\_\_ **Segurança e Medicina do Trabalho**. 62ª Edição. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008b. p. 138-220.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-9 - Programa de prevenção de riscos ambientais. In: \_\_\_\_\_ **Segurança e Medicina do Trabalho**. 62ª Edição. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008a. p. 95-98.
- BREVIGLIERO, E.; POSSEBON, J.; SPINELLI, R. **Higiene Ocupacional: agentes biológicos, químicos e físicos**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006.
- CAMARGO, J. M. Exposição humana a campos elétricos e magnéticos. **Eletricidade Moderna**, v. 375, p. 66-74, jun. 2005.
- COMPANHIA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PAULISTA. **Instrução TM-015/01 - Manutenção de Instalações Energizadas**. São Paulo. 2001.
- FRANÇA, A. M. et al. **Aspectos de segurança quanto aos campos magnéticos produzidos durante a execução de serviços de calibração em alta corrente**. Sociedade Brasileira de Metrologia. Recife. 2003.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. **Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)**. Abril de 1998. Disponível em: <<http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2009.

KISCH, L. R. **Matriz de Exposição Ocupacional – MEO (Avaliação qualitativa da exposição ocupacional frente aos campos elétrico e magnético de baixa frequência)**. Faculdade de Tecnologia de Piracicaba. Piracicaba. 2008.

LOPES, J. C. R. et al. Medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos. **Eletricidade Moderna**, v. 399, p. 40-55, jun. 2007.

NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES. **EMF - Electric and magnetic fields associated with the use of electric power. Questions and Answers**. EUA, 2002. Disponível em: <<http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/booklet/home.htm>>. Acesso em: 06 nov. 2008.

RITZ DO BRASIL. **Catálogo de Produtos**. Belo Horizonte. 2007.