



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

**Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FAPEMIG**

Título:

**Avaliação do ambiente eletromagnético visando segurança pessoal:
determinação do nível de “poluição eletromagnética” em Belo Horizonte.**

TEC-2219/96

Relatório Técnico Nº 1

**Prof. José Osvaldo Saldanha Paulino
Doutoranda Marisa Lages Murta
Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG**

Abril de 2002

Rel.01- 04/2002-DEE/FCO/FAPEMIG/TEC-2219/96-30p

*Av. Antônio Carlos, 6.627
31.270-010 - Belo Horizonte, MG - BRASIL
Tel: +55 31 3499-4812/4813 - Fax: +55 31 3499-4810
e-mail: dee@eee.ufmg.br - <http://www.dee.ufmg.br>*



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Sumário

1 - Introdução.....	3
2 - Justificativa.....	4
3 - Metas.....	6
4 – Metodologia	6
5 – Pesquisa bibliográfica.....	7
5.1 – Campos e ondas eletromagnéticas.....	7
6 – Medição da intensidade de campos/radiação eletromagnética.....	11
6.1 – Unidades de medida.....	11
6.2 – O espectro de frequências.....	12
6.3 – Instrumentos de medição.....	14
7 – O ambiente eletromagnético.....	14
7.1 – Dentro de residências.....	15
7.2 – Dentro de residências próximas a torres de telefonia celular.....	19
7.3 – Proximidades de estações de telefonia celular.....	20
7.4 – Proximidades de linhas aéreas de energia elétrica.....	22
7.5 – Proximidades de linhas subterrâneas de energia elétrica.....	22
7.6 – Proximidades de subestações de energia elétrica.....	23
7.7 – Outras Medições.....	24
7.8 – Análise dos Resultados.....	26
8 – Conclusões.....	28
9 - Duração do projeto.....	28
10 - Continuidade dos estudos.....	29
11 – Referências bibliográficas.....	29



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

1 - Introdução

Atualmente, com o intenso desenvolvimento da eletrônica industrial e de comunicação, houve um aumento significativo dos valores dos campos eletromagnéticos presentes nos ambientes residenciais, comerciais e industriais.

Publicações recentes [1,2] alertam para os riscos de câncer, insônia, hipertensão e outros males provocados pelas radiações eletromagnéticas. Apesar de existirem questionamentos sobre os níveis de campos eletromagnéticos, realmente prejudiciais ao ser humano, uma série de países já adota normas que estabelecem valores máximos admissíveis para estes campos.

Com a “explosão” da telefonia celular, centenas de antenas foram instaladas na cidade, sendo que algumas foram instaladas sobre prédios e outras muito próximas de casas e prédios.

Com o crescimento das cidades, subestações e linhas de transmissão de alta tensão, que antes ficavam distantes dos centros populacionais, estão, hoje, muito perto das edificações urbanas. Os sistemas de alta tensão geram campos eletromagnéticos de baixa frequência (60 Hz) e também geram campo de alta frequência (MHz) devido, principalmente, ao efeito corona que ocorre nos cabos e equipamentos.

Além dos problemas de segurança pessoal existe o problema da interferência entre os equipamentos. Telefones que sintonizam rádio, celulares que alteram balanças eletrônicas, bancos de dados alterados por pulsos de radar, etc. Os exemplos são vários e a própria imprensa, vez por outra, noticia casos de interferência devido à “poluição eletromagnética”.

O Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG tem sido muito procurado pela imprensa, por associações de moradores e por pessoas físicas/jurídicas



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

interessadas em saber se as pessoas e instalações estão expostas a níveis elevados de radiação.

Este quadro indica a necessidade de se conhecer os níveis de radiação eletromagnética não ionizante presentes nos ambientes públicos e privados.

A análise e medição de campos eletromagnéticos gerados por equipamentos eletro/eletrônicos faz parte de uma área de estudos conhecida como EMC (Compatibilidade Eletromagnética). Esta área tem-se destacado cada vez mais em universidades e centros de pesquisa ao redor do mundo.

Com este projeto de pesquisa foi feito um levantamento de campo, em várias regiões de Belo Horizonte, notadamente nas proximidades de torres de transmissão de rádio, televisão e telefonia celular, linhas de transmissão e subestações, dos valores de campo elétrico e campo magnético existentes no ambiente. O resultados obtidos neste levantamento foram confrontados com os valores máximos recomendados nas normas internacionais.

2 - Justificativa

Todo equipamento eletro/eletrônico cria campos eletromagnéticos que não ficam confinados no seu interior. Sistemas de transmissão de rádio e televisão são projetados para emissão de radiação eletromagnética num amplo espectro de frequência. Linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica e até os eletrodomésticos e a fiação elétrica de uma residência também são fontes de campo eletromagnético.

O fato do número de equipamentos eletro/eletrônicos estar aumentando vertiginosamente implica em um aumento significativo dos níveis de radiação



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

eletromagnética presentes em qualquer tipo de ambiente. Alguns pesquisadores já estão utilizando o termo “Poluição Eletromagnética”.

Ao mesmo tempo que todo equipamento eletro/eletrônico gera campos eletromagnéticos ele também sofre a influência de campos gerados em outras fontes.

Várias pesquisas estão sendo feitas em todo o mundo visando a determinação de valores de campo e tempo de exposição que seriam prejudiciais ao ser humano. A implantação da telefonia celular gerou, em alguns países, bastante polêmica e várias pessoas levaram a discussão para as barras dos tribunais.

Algumas normas internacionais já estabeleceram valores máximos admissíveis de radiação eletromagnética [1,2]. Uma das recomendações mais utilizadas no mundo é a ICNIRP [1] que estabelece os níveis mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Níveis máximos permissíveis de campos eletromagnéticos em ambientes públicos-ICNIRP [1].

Faixa de frequência (MHz)	Campo Elétrico (V/m)	Campo Magnético (A/m)
0,1 – 1	87	$0,23/\sqrt{f}$
1 – 10	$87/\sqrt{f}$	$0,23\sqrt{f}$
10 – 400	27,5	0,073
400 – 2000	$1.375\sqrt{f}$	$0,0037\sqrt{f}$
2000 – 300.000	61	0,16

3 - Metas

As principais metas do presente projeto são:

*Av. Antônio Carlos, 6.627
31.270-010 - Belo Horizonte, MG - BRASIL
Tel: +55 31 3499-4812/4813 - Fax: +55 31 3499-4810
e-mail: dee@eee.ufmg.br - <http://www.dee.ufmg.br>*



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

-
- a - Dominar as técnicas de medição de campos eletromagnéticos;
- b - Fazer um levantamento dos níveis de radiação eletromagnética presentes em ambientes públicos e privados de Belo Horizonte. Serão medidos os valores dos campos eletromagnéticos na faixa de 5 Hz a 3000 MHz.

4 - Metodologia

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica a respeito de:

- técnicas de medição de campos eletromagnéticos;
- trabalhos similares já realizados em outros países;
- normas e recomendações sobre níveis aceitáveis de radiação eletromagnética.

Foram feitas medições em campo (nas ruas, praças, dentro de casas, lojas e apartamentos) dos níveis de radiação eletromagnética em algumas regiões do município de Belo Horizonte, notadamente, aquelas nas vizinhanças de antenas de rádio, televisão e telefonia celular e também nas proximidades de linhas de transmissão e subestações de energia elétrica.

Foram utilizadas antenas especiais para a medição de campos e ondas eletromagnéticas. A partir de medições realizadas com antenas de banda larga foram determinadas as regiões mais críticas. Nestas regiões serão feitas medições mais detalhadas.

As medições iniciais foram feitas pela equipe de professores juntamente com alunos de mestrado e doutorado.

Os resultados obtidos no trabalho de campo foram confrontados com os valores normalizados e o resultado será publicado em revistas e congressos da área.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

5 – Pesquisa bibliográfica

O presente projeto foi enviado à FAPEMIG em 1996 e os recursos foram liberados em 2001. Entre o envio do projeto e a liberação dos recursos, o trabalho proposto foi iniciado. Conseguimos uma verba em 1998 do Fundo FUNDEP-UFMG para a aquisição de um conjunto de medidores de campo não seletivos (medidores isotrópicos e de banda larga) que permitiu o início das medições. Com o equipamento adquirido agora, medidor seletivo, serão realizadas novas medições, mais precisas e com discriminação das frequências. Neste período, 1996/2002, quatro dissertações de mestrado, versando sobre o tema, foram orientadas [3, 4, 5 e 6] e estão em desenvolvimento duas teses de doutorado. Estes trabalhos contém uma vasta pesquisa bibliográfica sobre o tema e apenas alguns comentários relativos a campos e ondas serão feitos a seguir.

5.1 – Campos e ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas são originadas em cargas elétricas aceleradas (correntes elétricas alternadas; fontes de luz; antenas; explosões solares; etc.). As ondas eletromagnéticas são ondas constituídas de campos elétrico e magnético.

Mesmo quando não projetados para este fim, todo equipamento elétrico ou eletrônico, que funciona com corrente elétrica alternada, pode gerar ondas eletromagnéticas. Os campos ou ondas eletromagnéticas são também conhecidos como ondas de rádio ou, ainda, radiações eletromagnéticas.

Geralmente os campos eletromagnéticos são quantificados em termos de intensidade de campo elétrico “E”, expressa em volts por metro (V/m), intensidade



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

de campo magnético “H”, expressa em ampères por metro (A/m), e densidade de potência “S”, expressa em watts por metro quadrado (W/m²).

Campos eletromagnéticos mudam de característica com a distância a partir da sua fonte radiante. Para o estudo dos campos de rádio frequência são definidas três regiões distintas. A região de campo perto, a região de campo intermediário e a região de campo distante são localizadas por esferas de diferentes raios ao redor da antena. A região de campo perto está numa distância de aproximadamente “ $R < 2D^2/\lambda$ ” e a região de campo distante se estende a distâncias de “ $R \geq 2D^2/\lambda$ ”, onde “D” é a maior dimensão da antena e “ λ ” é o comprimento de onda, figura 1.

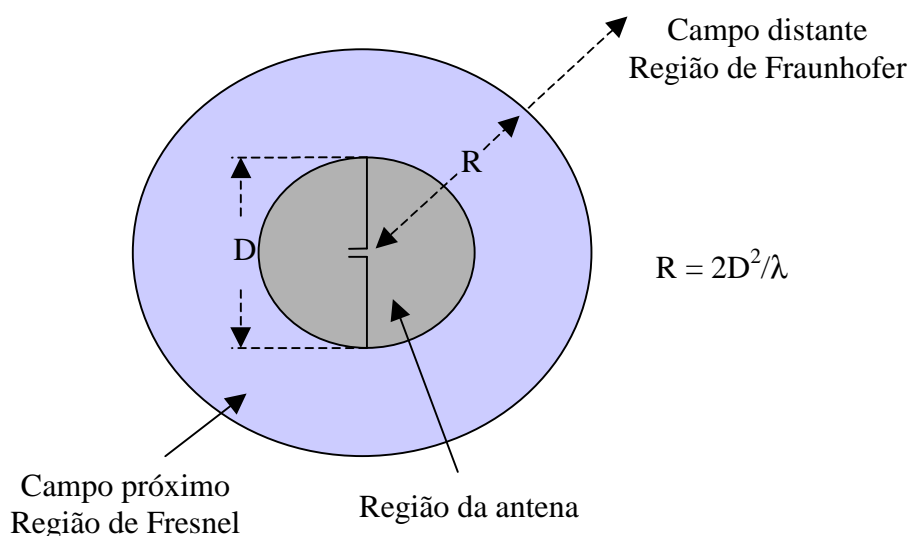


Figura 1 – Regiões de campo próximo e campo distante.

Na região de campo perto, os máximos e mínimos dos campos elétricos e magnéticos não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação, como no caso do campo distante. Os campos elétrico e magnético não são mais necessariamente perpendiculares e não podem ser caracterizados como ondas. Nesta região, a estrutura do campo eletromagnético é bastante não homogênea.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Não existe relação direta entre os dois campos e para a caracterização do ambiente eletromagnético são necessárias medições dos dois campos (elétrico e magnético).

Longe da fonte, na região de campo distante, os campos atuam como ondas planas e têm as seguintes características:

- Os vetores de campo elétrico “E” e campo magnético “H” são perpendiculares.
- A razão “E/H” é chamada de impedância de onda “Z” e para o espaço livre é igual a 377 Ω.
- A densidade de potência, “S”, é a potência por unidade de área normal à direção de propagação, e é expressada na unidade W/m².
- A densidade de potência em qualquer ponto é calculada através do produto vetorial entre os vetores de campos elétrico e magnético, ou seja, “S = EH”.
- “S” é também denominado de Vetor de Poynting e representa a densidade de potência e fornece a direção de propagação da energia.

- $S = EH$; ou $S = \frac{E^2}{377}$; ou $S = 377H^2$.

- Ambos os campos elétrico “E” e magnético “H” variam com o inverso da distância à fonte, ou seja, “1/r”.
- A densidade de potência “S” varia com o inverso do quadrado da distância à fonte, ou seja, “1/r²”.

Nesta situação, campo distante, é suficiente a medição de apenas um dos campos (elétrico ou magnético) ou a medição da densidade de potência.

Nos sistemas de energia elétrica, baixa frequência (f = 60 Hz), o comprimento de onda é muito grande (λ = 5.000 km) de maneira que as medições sempre são feitas na região de campo perto. A intensidade da radiação de um sistema de 60 HZ é muita baixa e isto implica na caracterização do ambiente eletromagnético em



termos de campo elétrico e campo magnético e não como ondas eletromagnéticas. Nestes sistemas é necessário que se façam medições dos campos elétrico e magnético, figura 2.

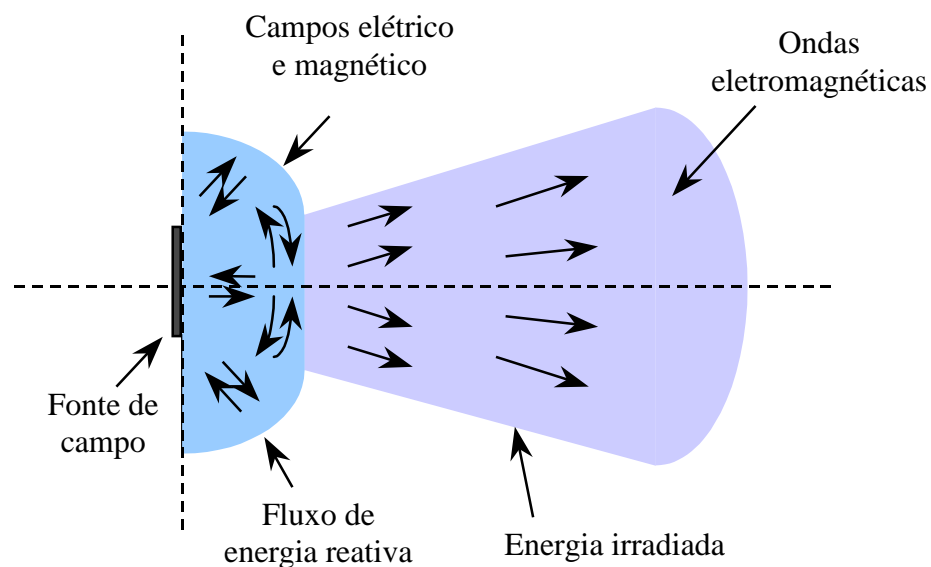


Figura 2 – Campos e ondas.

6 – Medição da intensidade de campos/radiação eletromagnética

Os valores da potência irradiada ou dos campos criados por uma fonte podem ser determinados por meio de cálculos matemáticos ou através de medições.

Em regiões onde existem muitos anteparos (prédios, casas, morros, etc.) a medição, geralmente, leva a valores mais precisos que os cálculos.



Dois tipos de medição foram feitos:

- isotrópica e de banda larga;
- seletiva.

Na medição isotrópica e de banda larga utiliza-se um medidor que mede o campo em todas as direções (isotrópico) e todos os campos presentes no ambiente (linhas de energia, TV, rádio, lâmpadas fluorescentes, telefonia celular, etc.). O valor fornecido pelo medidor é o resultante da soma de todos os campos presentes no ambiente na faixa de frequência utilizada. Neste tipo de medição não é possível saber qual fonte está gerando os campos.

No caso de medição seletiva, a mesma é feita numa pequena faixa de frequência (seletiva), por exemplo a faixa utilizada por uma determinada tecnologia. O valor dos campos pode ser determinado nas direções “x” e “y”.

6.1 – Unidades de medida

No caso de sistemas de energia elétrica (60 Hz) foram medidos os valores dos campos elétrico e magnético. Algumas normas fornecem valores limites para o campo elétrico e para a densidade de fluxo magnético, quando o meio é o ar a densidade de fluxo está relacionada ao campo magnético conforme a expressão a:

$$B = \mu_0 H;$$
$$\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}.$$

No caso de sistemas de alta frequência ($f > 30$ kHz) foi medido apenas o valor da intensidade de campo elétrico. O valores das intensidades de campo magnético e da densidade de potência podem ser calculados pelas expressões:

$$H = 377.E;$$



$$S = E^2/377.$$

As unidades de medida das grandezas estão relacionadas na tabela 2.

Tabela 2 - Unidades de medida.

Campo Elétrico	Campo magnético	Densidade de fluxo magnético	Densidade de potência:
E	H	B	S
Volts/metro V/m	Âmperes/metro A/m	Tesla (T) ou Gauss (G) 1G = 100 μT	Watts/metro quadrado W/m ²

6.2 – O espectro de frequências

A faixa de frequência utilizada pelas atuais tecnologias se estende de “0 Hz” (corrente contínua) a mais de “10¹⁸ Hz” (raios X). As figuras 3 e 4 mostram o espectro das frequências mais utilizadas.

O instrumental disponível permite a medição de campos e ondas na faixa de 5 Hz a 3 GHz. Essa faixa cobre as principais tecnologias, eletro/eletrônicas e de comunicação, presentes nos ambientes urbanos.

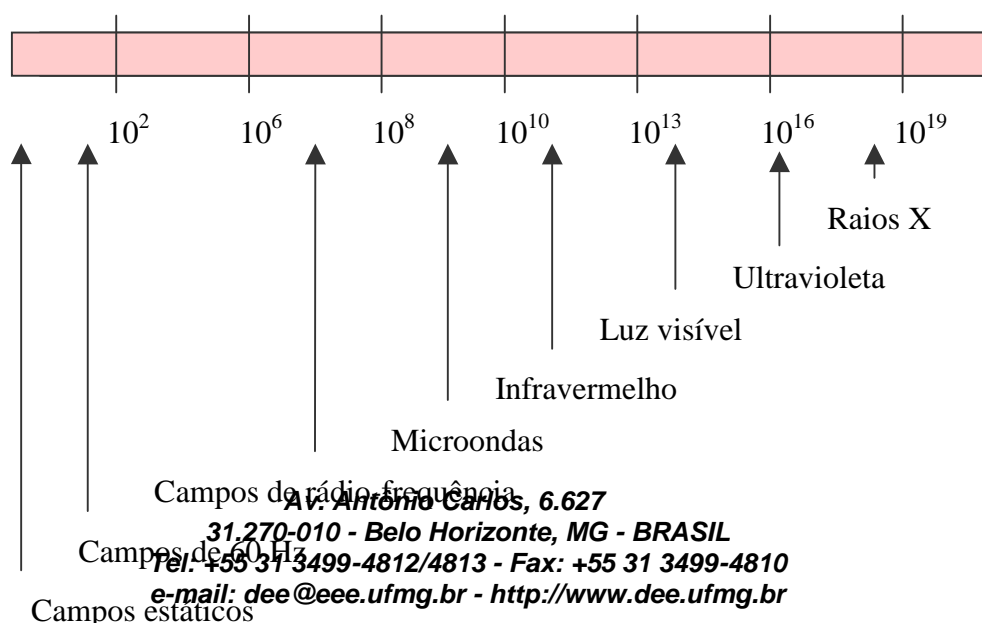




Figura 3 – Espectro eletromagnético. Frequência em Hz.

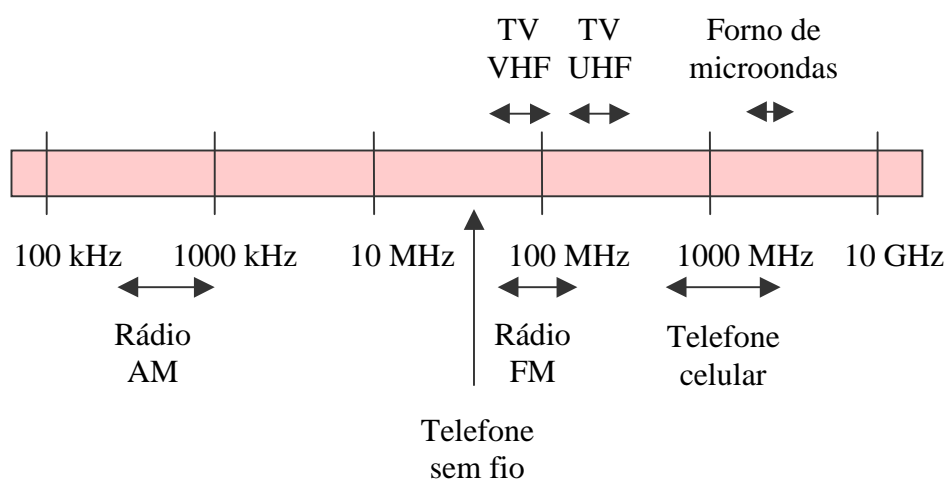


Figura 4 – Espectro eletromagnético – Faixa de rádio frequência.

6.3 - Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição que foram utilizados neste projeto estão relacionados na tabela 3.

Tabela 3 – Instrumentos utilizados nas medições.

Campo	Característica da medição	Faixa de frequência		Fabricante
		Inferior	Superior	
Magnético	Não seletiva	5 Hz	30 kHz	Wandel&Goltermann



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Elétrico	Não seletiva	5 Hz	30 kHz	Wandel&Goltermann
Elétrico	Não seletiva	100 kHz	3 GHz	Wandel&Goltermann
Elétrico	Seletiva	30 MHz	3 GHz	Rodhe&Schwarz

7 – O ambiente eletromagnético

As medições foram feitas em diferentes situações em que o público em geral é exposto a campos eletromagnéticos. Basicamente, os campos foram medidos no interior de residências, onde se avaliou os campos gerados por equipamentos eletro/eletrônicos, e nas proximidades de fontes de campo mais específicas, tais como antenas de celular e linhas de energia (transmissão e distribuição).

Uma síntese das medições realizadas é apresentada a seguir.

7.1 – Dentro de residências

As medições foram feitas procurando-se avaliar os níveis de campo elétrico e magnético gerados por equipamentos eletro/eletrônicos presentes dentro de residências, especialmente os eletrodomésticos.

A medição dos campos foi feita na faixa de 5 Hz a 30 KHz e, posteriormente, na faixa de 100 KHz a 3 GHz, por medidores não seletivos. Os resultados são apresentados a seguir.



a) 5 Hz a 30 KHz

As medições foram feitas em diferentes distâncias do equipamento e a tabela 4 mostra os níveis médios medidos a 10 e 100 cm do equipamento

As características dos equipamentos analisados bem como as condições de operação no momento da medição estão detalhadas na tabela 5.

Tabela 4 – Campos elétricos e magnéticos gerados por equipamentos eletro-eletrônicos – 5 Hz a 30 KHz

<i>Equipamento</i>	<i>E (V/m)</i>		<i>B (μT)</i>		
	<i>d = 10 cm</i>	<i>d = 100 cm</i>	<i>d = 10 cm</i>	<i>d = 100 cm</i>	
Ar condicionado	20.7	10.9	0.83	0.06	
Grill	348.7	9.5	0.19	0.11	
Forno elétrico	196.5	9.9	4.55	0.13	
Secador de cabelos	150.0	14.0	0.90	0.12	
Microcomputador	1	13.1	9.0	0.005	0.02
	2	42.0	9.2	0.98	0.06
	3	33.1	8.5	0.09	0.04
	4	31.1	8.2	1.10	0.07
Secadora de roupas	Q	158.8	26.6	1.16	0.15

Av. Antônio Carlos, 6.627

31.270-010 - Belo Horizonte, MG - BRASIL

Tel: +55 31 3499-4812/4813 - Fax: +55 31 3499-4810

e-mail: dee@eee.ufmg.br - <http://www.dee.ufmg.br>



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

	F	187.8	26.8	0.43	0.15
Máquina de lavar *	L	11.6	8.5	0.14	0.09
	C	17.0	8.2	0.18	0.14
Luminária de mesa	1	126.9	15.0	3.63	0.12
	2	145.0	18.0	2.40	0.10
	3	220.0	20.0	1.80	0.10
Microondas	1	93.0	12.0	26.50	0.50
	2	17.5	8.5	16.51	0.33
Furadeira	S	32.4	8.9	6.62	0.10
	C	1002.7	8.9	5.13	0.11
Furadeira de bancada	S	20.1	10.5	0.94	0.82
	C	21.5	10.4	0.02	0.02
Televisão	1	280.0	30.0	4.90	0.40
	2	275.0	18.0	4.80	0.35

* neste caso específico a primeira medição foi feita a uma distância de 25 cm.

Tabela 5 – Características dos equipamentos analisados na faixa de 5 Hz a 30 KHz.

<i>Equipamento</i>		<i>Características</i>
Ar condicionado		Springer Mundial 1500 BTU
Forno elétrico		Layr 2400 W, à temperatura de 200° C
microcomputador	1	Apenas CPU ligada, medição na frente do micro
	2	CPU e monitor ligados, medição na frente do micro
	3	Apenas CPU ligada, medição por trás do micro
	4	CPU e monitor ligados, medição por trás do micro
Secadora de roupas	Q	Brastemp Linea Verona, funcionando com ar quente
	F	Brastemp Linea Verona, funcionando com ar frio
Máquina de lavar *	L	Prosdócimo Luxo, na opção de lavagem
	C	Prosdócimo Luxo, na opção de centrifugação



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Luminária de mesa	1	Ilutec com lâmpada Sylvânia 15W
	2	Ilutec com lâmpada Osram 15W
	3	Ilutec com lâmpada compacta Chang 9W
Microondas	1	Samsung
	2	Sharp
Furadeira	S	Bosh GSB10-2, 400W, 1700 rpm, 110 V, sem carga
	C	Bosh GSB10-2, 400W, 1700 rpm, 110 V, com carga
Furadeira de bancada	S	Schulz FSB 5/8, 368W, 1730 rpm, 220 V, sem carga
	C	Schulz FSB 5/8, 368W, 1730 rpm, 220 V, com carga
Televisão	1	TV 20" Toshiba
	2	TV 29" Gradiente

b) 100 KHz a 3 GHz

Outros equipamentos foram utilizados na análise dos campos gerados na faixa de 100 kHz a 3 GHz. Os valores dos campos elétricos médios medidos em diferentes distâncias do equipamento e as características dos equipamentos estão mostradas nas tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 – Campos elétricos gerados por equipamentos eletro/eletrônicos – 100 KHz a 3 GHz

<i>Equipamento</i>	<i>E (V/m)</i>		
	<i>d = 10 cm</i>	<i>d = 60 cm</i>	<i>d = 90 cm</i>



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Forno de microondas	12.4	7.6	6.1
Microcomputador	7.4	0.4	---
Televisão 1	9.6	0.7	---
Televisão 2	---	0.5	---

Tabela 7 – Características dos equipamentos analisados na faixa de 100 KHz a 3 GHz.

<i>Equipamento</i>	<i>Características</i>
Forno de Microondas	Sharp
Microcomputador	Monitor da marca Sony-Trinitron
Televisão 1	14" Tokay
Televisão 2	14" Kirey

7.2 – Dentro de residências próximas a torres de telefonia celular

Foram medidos os campos elétricos no interior de residências localizadas nas proximidades de torres de telefonia celular. O equipamento utilizado, neste caso, foi o medidor não seletivo na faixa de 100 KHz a 3 GHz. A medição foi feita em vários cômodos das residências. A tabela 8 apresenta os valores medidos para três diferentes residências com as seguintes características:

Residência 1: casa localizada em bairro residencial, com a presença de uma torre no lote vizinho, a cerca de 5 m dos cômodos da casa.

Residência 2: prédio localizado em bairro comercial com a presença de uma torre a cerca de 30 m de distância. Medições feitas em apartamentos e áreas comuns.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Residência 3: prédio localizado em bairro residencial com a torre a cerca de 10 m. Medições feitas no interior de um apartamento.

Tabela 8 – Campos elétricos medidos nas proximidades de antenas de celular – 100 KHz a 3 GHz

Local	Campo Elétrico (V/m)		
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor médio
Residência 1	1.51	---	0.39
Residência 2	1.22	---	0.44
Residência 3	2.76	0.46	2.20

Uma prática usual das operadoras de telefonia celular tem sido a instalação das antenas nos topos de edifícios (coberturas, caixas d'água, fachada, etc). Devido à maior proximidade das antenas, a análise dos campos no interior dos apartamentos de tais edifícios torna-se interessante.

A tabela 9 mostra os valores de campo elétrico medidos em apartamentos de dois prédios, nos quais encontram-se instaladas antenas de celular:

Prédio 1: localizado na região central de Belo Horizonte

Prédio 2: localizado em bairro residencial

Tabela 9 – Campos elétricos medidos em prédios onde estão instaladas antenas de celular – 100 KHz a 3 GHz

Local	Campo Elétrico (V/m)		
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor médio
Prédio 1	4.0	0.25	1.36
Prédio 2	6.83	---	0.99



7.3 – Proximidades de estações de telefonia celular

O ambiente eletromagnético nas proximidades de estações de telefonia celular (Estação Rádio-Base: ERB) foi determinado para duas ERB's:

ERB 1: antena localizada na região metropolitana de Belo Horizonte

ERB 2: microcélula no interior de um shopping de Belo Horizonte

A tabela 10 mostra os campos elétricos medidos para diferentes distâncias das estações.

Tabela 10 – Campos elétricos medidos nas proximidades de ERB's – 100 KHz a 3 GHz

Local	distância à base da torre	Campo Elétrico (V/m)		
		Valor máximo	Valor mínimo	Valor médio
ERB 1	30 m	0.48	---	0.13
	200 m	1.20	---	0.29
	500 m	0.52	---	0.23
ERB 2	2 m	1.20	1.02	0.83

Uma outra análise interessante é a determinação dos níveis de campo gerados por aparelhos celulares operando nas proximidades das ERB's.

As medições foram feitas para as mesmas ERB's consideradas anteriormente. Os valores máximos medidos são mostrados na tabela 11.



Tabela 11 – Campos elétricos gerados por aparelho celular operando nas proximidades de ERB's – 100 KHz a 3 GHz

	<i>Distância da antena</i>	<i>Distância do aparelho</i>	<i>Campo Elétrico (V/m)</i>
ERB 1	10 m	0 cm	6.3
		5 cm	2.7
		10 cm	2.8
		20 cm	1.0
	30 m	0 cm	2.7
		5 cm	1.8
		10 cm	1.0
		20 cm	0.9
	1 km	0 cm	2.4
		5 cm	1.3
		10 cm	0.9
		20 cm	0.4
ERB 2	2 m	0 cm	16.0

7.4 – Proximidades de linhas aéreas de energia elétrica

Foram realizadas medições nas proximidades de uma linha de distribuição, em duas situações: configuração horizontal e com os cabos trançados. Os resultados estão mostrados na tabela 12.

Tabela 12 – Campos medidos nas proximidades de uma linha de distribuição – 60 Hz.

<i>Linha de Distribuição</i>	<i>E (V/m)</i>	<i>B (μT)</i>
Cabos trançados	63.5	0.075
Cabos separados	92.84	0.157

A medição de campos nas proximidades de linhas de transmissão aéreas e outras medições mais detalhadas em linhas de distribuição deverão ser feitas em uma etapa seguinte do trabalho.



7.5 – Proximidades de linhas subterrâneas de energia elétrica

Os campos magnéticos de 60 Hz foram medidos nas proximidades de linhas de transmissão subterrânea de 138 KV, em diferentes trechos. A tabela 13 mostra os valores máximos medidos para cada linha de transmissão. A medição foi feita em duas diferentes alturas: ao nível do solo ($h = 0$ m) e a 1m de altura ($h = 1$ m).

As características básicas das linhas analisadas são:

LT 1: configuração em trifólio, trechos em bairro residencial

LT 2: configuração horizontal, trechos em bairro residencial

LT 3: configuração horizontal, trechos na região central de Belo Horizonte

Tabela 13 – Campos magnéticos nas proximidades de linhas de transmissão subterrânea – valores de densidade de fluxo magnético (B) em μT na frequência de 60 Hz.

	<i>Altura de medição</i>	<i>B (μT)</i>
LT 1	0 m	1.43
	1 m	0.82
LT 2	0 m	11.80
	1 m	3.66
LT 3	0 m	3.34
	1 m	1.62

7.6 – Proximidades de subestações de energia elétrica

As medições foram feitas nas proximidades de uma subestação localizada na região central de Belo Horizonte, na superfície do solo. Os valores de campo



magnético medidos nas calçadas que circundam a subestação estão mostrados na tabela 14.

Tabela 14 – Campos magnéticos nas proximidades de uma subestação – valores de densidade de fluxo magnético (B) em μT na frequência de 60 Hz.

<i>Local</i>	<i>B (μT)</i>		
	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor médio</i>
Proximidades da SE	2.90	0.29	1.46

7.7 – Outras medições

Medições em outras situações foram também analisadas e estão descritas, sucintamente, a seguir.

a – nas proximidades de antenas de rádio e televisão.

Foram feitas medições nas proximidades de diversas antenas de rádio e televisão de diferentes frequências na faixa de 100 kHz a 3 GHz. Os valores medidos estão resumidos na tabela 15.

Tabela 15 – Campo Elétrico nas proximidades de antenas de rádio e TV – 100 KHz a 3 GHz.

<i>Local</i>	<i>E (V/m)</i>		
	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor médio</i>
Proximidades de antenas de rádio e TV	4.83	1.53	3.74



b – nas proximidades de uma subestação de um edifício.

Foram feitas medições de campos magnéticos de 60 Hz nas proximidades da subestação do prédio onde funciona a Faculdade de Medicina da UFMG. Os valores medidos são mostrados na tabela 16.

Tabela 16 – Campos magnéticos nas proximidades de uma subestação predial – valores de densidade de fluxo magnético (B) em μT na frequência de 60 Hz.

<i>Local</i>	<i>B (μT)</i>		
	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor médio</i>
Proximidades da SE	4.8	0.1	1.81

c – medição durante 24 horas em um ambiente universitário

Foram medidos os campos elétricos e magnéticos existentes em uma sala de computadores da UFMG durante 24 horas. O aparelho foi fixado em um canto da sala e programado para gravação dos valores medidos durante o período determinado. Os valores máximos, mínimos e médios são mostrados na tabela 17. A faixa de frequência das medições foi de 5 Hz a 30 kHz.

Tabela 17 – Campos medidos durante 24 horas – 5 Hz a 30 kHz.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

<i>Campo Elétrico (V/m)</i>			<i>Campo Magnético (uT)</i>		
<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor médio</i>	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor médio</i>
13.5	11.9	12.7	5.7	0.2	1.13

d – medição no interior de automóveis

A determinação dos níveis de campo existentes no interior de automóveis é muito interessante, uma vez que é um espaço onde encontram-se muitos circuitos e equipamentos eletrônicos.

O sensor de campo foi colocado no banco da frente, ao lado do motorista, e as medições foram feitas em diversas situações: carro desligado, parado, em movimento, etc.

Os valores da densidade de fluxo magnético medidos na faixa de frequência de 5 Hz a 30 kHz são indicados na tabela 18.

Tabela 18 – Campos magnéticos no interior de um automóvel – valores de densidade de fluxo magnético (B) – 5 Hz a 30 kHz

<i>Local</i>	<i>Campo Magnético (μT)</i>		
	<i>Valor máximo</i>	<i>Valor mínimo</i>	<i>Valor médio</i>
Interior de um carro	4.4	0.2	2.62

7.8 – Análise dos Resultados:

a) Alta frequência: 100 kHz a 3 GHz



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Conforme a recomendação do ICNIRP e da ANATEL (tabela 1), para uma frequência típica de celular de 900 MHz o valor máximo de campo elétrico permitido é de :

$$f = 900 \text{ MHz} \quad \Rightarrow \quad E_{\text{MAX-PERMITIDO}} = 41,25 \text{ V/m}$$

Nas diversas medições efetuadas em alta frequência, o valor máximo de campo elétrico encontrado foi de **16,0 V/m**, referente ao valor gerado pelo aparelho celular quando encostado no medidor (equivale ao aparelho estar encostado na cabeça do usuário). Esse valor é cerca de **3 vezes menor** que o valor máximo permitido na recomendação ICNIRP/ANATEL.

No entanto, na consideração dos ambientes eletromagnéticos, o maior valor encontrado foi de **6,83 V/m**. Esse valor é cerca de **6 vezes menor** que o valor máximo permitido na recomendação ICNIRP/ANATEL.

b) Baixa frequência: 5 Hz a 30 kHz

Nesta faixa, a frequência de maior interesse é 60 Hz. Conforme a recomendação do ICNIRP [1], para uma frequência de 60 Hz o valor máximo de densidade de fluxo magnético permitido é:

$$f = 60 \text{ Hz} \quad \Rightarrow \quad B_{\text{MAX-PERMITIDO}} = 83,3 \mu\text{T}$$

Na determinação dos campos gerados por equipamentos eletro-eletrônicos, o maior valor de campo medido foi de **26,50 μT** , referente ao campo medido a 10 cm de um forno de microondas. Esse valor é cerca de **3 vezes menor** que o valor máximo permitido pelo ICNIRP.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Com relação aos valores medidos na caracterização dos diversos ambientes eletromagnéticos, o maior valor encontrado foi de **11,80 μT** , medido nas proximidades de uma linha de transmissão subterrânea. Esse valor é cerca de **7 vezes menor** que a recomendação do ICNIRP.

8 - Conclusões

Foram feitas medições de campos e ondas eletromagnéticas em um amplo espectro de frequências (5 Hz a 3 GHz), em vários locais do município de Belo Horizonte, abrangendo grande parte da faixa utilizada pelas tecnologias atuais.

Os resultados preliminares indicam que os níveis de campo estão abaixo dos valores máximos recomendados pelas normas técnicas pertinentes.

Novas medições deverão ser realizadas nas proximidades de linhas de transmissão e distribuição aéreas e subestações, buscando-se uma melhor caracterização deste ambiente eletromagnético. Além disso, medições mais precisas serão realizadas com o intuito de garantir a confiabilidade dos resultados.

9 - Duração do projeto

A previsão inicial de duração do projeto foi de 18 meses. Foi solicitado, em ofício anexo, uma extensão de mais seis meses (finalização do projeto em dezembro/2002).



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

Esse aumento de prazo foi solicitado em função das dificuldades encontradas no transporte do sistema de medição seletivo. Foi previsto no projeto a aquisição de um veículo para transporte do sistema de medição. Entretanto, devido a problemas “administrativos/legais” não foi possível o financiamento da compra do veículo. Foram liberados recursos para a recuperação e adaptação de um veículo de propriedade da UFMG. O veículo inicialmente previsto foi utilizado para outra finalidade e ainda não dispomos de um novo veículo para ser reformado. As medições já realizadas foram feitas utilizando-se veículos emprestados e não adequados para o transporte e operação do sistema de medição.

A procura de um veículo adequado para realização das medições foi iniciada. A previsão é que o veículo seja localizado e adaptado para que as medições possam ser realizadas de forma satisfatória, obedecendo ao novo prazo solicitado para a conclusão do projeto.

As medições já realizadas indicam que a situação está sob controle, ou seja, os níveis de campo estão bem abaixo dos valores máximos adotados nas recomendações internacionais.

10 - Continuidade dos estudos

Devido à relevância do tema e ao elevado custo dos equipamentos, este projeto não irá ser paralisado após o término das medições planejadas.

Vários outros estudos e pesquisas poderão ser feitos utilizando-se os mesmos equipamentos. Algumas das propostas de estudos futuros são relacionadas a seguir:

- Análise do nível de poluição eletromagnética em outras regiões do estado de Minas Gerais;



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

-
- Medições em ambientes industriais, principalmente em indústrias que trabalham com fornos elétricos (as elevadas correntes de alimentação dos fornos elétricos geram campos muito intensos).

11– Referências bibliográficas

1. ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. Health Physics vol. 74, p. 494-522, April 1998.
2. IEEE C95.1-1991, Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz, U.S.A., 1992.
3. Dissertação de mestrado de Luciana Andrade e Guerra. Orientador: José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Medição dos Campos Elétrico e Magnético de Baixa Frequência – 5 Hz a 30 kHz – Visando Segurança Pessoal*. Defendida em 21 de dezembro de 1998.
4. Dissertação de mestrado de Vilcker Germano Martins. Orientador José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Medição de campos eletromagnéticos de alta frequência (100 kHz a 3 GHz) gerados por equipamentos eletro-eletrônicos visando segurança pessoal*. Defendida em 25 de fevereiro de 2000.



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Elétrica

-
5. Dissertação de mestrado de Marisa Lages Murta. Orientador José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Estudo de Técnicas de Blindagem de Campos Magnéticos de Baixa Frequência*. Defendida em 10 de dezembro de 1998.

 6. Dissertação de mestrado de Moacir de Souza Júnior. Orientador: José Osvaldo Saldanha Paulino. Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais. *Estudo da eficiência de chapas de aço elétricos na blindagem de campos magnéticos de baixa frequência*. Defendida em 02 de junho de 2000.