

---

---

# EMISSÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS DE ESTAÇÕES RÁDIO BASE EM CAMPO PRÓXIMO: DISTÂNCIAS SEGURAS PARA REALIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO EM SISTEMAS IRRADIANTES

---

---

**Gustavo Macieira**

**Marcos Stefanelli Vieira**

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

## **Resumo**

Este trabalho mostra um estudo dos efeitos ocasionados pelos campos eletromagnéticos à saúde, e uma correlação entre o nível que os técnicos estão expostos e uma distância segura. Foram calculados os campos eletromagnéticos e respectivos níveis de densidade de potência usando um script MATLAB. Os resultados foram comparados com as limitações estipuladas pela ANATEL para determinar uma distância segura usando os parâmetros de uma antena disponível na faixa de 1800MHz. Foi possível determinar que uma distância segura, para a manutenção, é entre 30 cm e 40 cm, com exposição durante 6 minutos, tempo que a ANATEL usou para suas limitações.

**Palavras-chave:** Radiação não ionizante. Estações rádio base. Exposição a campos eletromagnéticos.

# 1 INTRODUÇÃO

A radiação eletromagnética é a propagação de energia gerada por meio da combinação entre campos elétricos e magnéticos, que variam no tempo e no espaço e são interdependentes, a presença de um corroborando para a existência do outro, sucessivamente.

Essas ondas eletromagnéticas são irradiadas no espaço livre através de antenas utilizadas nos sistemas irradiantes das ERB, que representam uma célula no sistema de telefonia celular e, portanto, estão diretamente relacionadas com a expansão do sistema de telefonia móvel que tem crescido de forma significativa em todo o Brasil, aumentando a quantidade de ERB instaladas e, conseqüentemente, às taxas de radiação eletromagnética a qual se está exposto.

Dessa forma, é possível observar que os sistemas de telefonia móvel têm contribuído para as polêmicas e questionamentos sobre os efeitos das radiações eletromagnéticas em interação com a matéria e de que forma isso afeta a saúde da população em geral e dos profissionais de telecomunicações, que realizam a manutenção de sites de telecomunicações.

Um efeito biológico pode ser caracterizado quando ocorre uma mudança, a qual pode ser percebida em um sistema biológico após a introdução de um determinado estímulo. As ondas eletromagnéticas quando interagem com o corpo humano, dependendo da frequência e da potência, podem produzir algum tipo de efeito biológico.

A radiação das ondas eletromagnéticas pode ser dividida em duas categorias de acordo com sua frequência: as radiações ionizantes e as radiações não ionizantes. A Figura 1 mostra com mais detalhes as faixas de frequência do espectro eletromagnético, englobando as faixas de frequências ionizantes e não ionizantes (CRUZ, 2005).

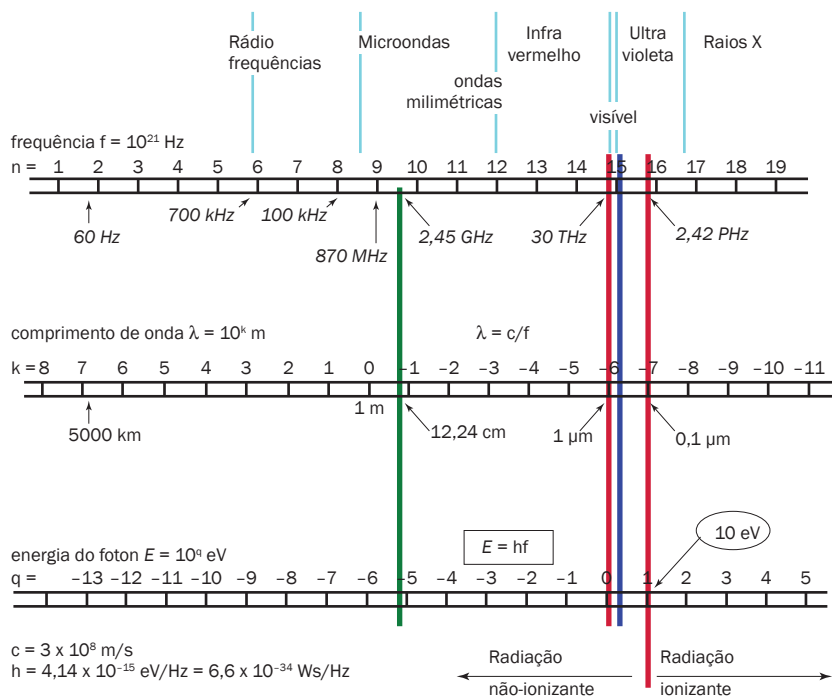


Figura 1 Espectro Eletromagnético.

Fonte: Cruz (2005, p. 40).

## 2 RADIAÇÕES IONIZANTES E NÃO IONIZANTES

As ondas com frequência de radiação com energia suficiente para remover elétrons dos átomos, provocando uma reação química chamada ionização, ou seja, a formação de íons, são chamadas de Radiações Ionizantes (RI).

Para que ocorra a ionização do material, a frequência da radiação deve ser alta, e apenas radiações com frequências acima do ultravioleta (a barra vermelha representada na Figura 1), tem energia suficiente para ionizar o material. Essas radiações são muito prejudiciais ao ser humano. Um exemplo de radiação ionizante é o raio-X,

muito utilizado na medicina cuja dosagem deve ser controlada e uma série de cuidados são adotados para que não haja nenhum tipo de dano à saúde daqueles que estão submetidos a esse tipo de radiação, como pacientes e profissionais da área de saúde (PAULINO, 2001).

As Radiações Não Ionizantes (RNI) são caracterizadas por ondas eletromagnéticas com frequência de radiação menores que o do ultravioleta, portanto as frequências utilizadas pelas ERB de telefonia celular se enquadram nessa categoria. Diferentemente às radiações ionizantes, essas não têm energia suficiente para dar início ao processo de ionização, e há uma série de questionamentos sobre os efeitos biológicos que possam ser causados por esse tipo de energia.

Geralmente considera-se como não ionizantes as ondas eletromagnéticas que têm emissões de energia até 10eV e com comprimento de onda maior que 200 nm. Embora até agora somente os efeitos térmicos da RI em seres vivos tenham sido comprovados, é crescente o interesse em determinar os verdadeiros riscos de tais emissões aos seres humanos, devido ao crescimento das fontes de RNI, especialmente no caso da telefonia celular, radares e *links* que operam em frequências proporcionais a GHz (ELBERN, 199-?).

O efeito causado pela radiação eletromagnética, com a matéria, é o resultado da transferência de energia por meio dos sistemas irradiantes das ERB, até o tecido em que essa energia afeta. Os efeitos dessa interação podem ocasionar o aquecimento do material, conhecido como efeito térmico, ou caso a interação do campo com a matéria não libere uma quantidade significativa de calor esse efeito pode ser chamado de não térmico. Os principais fatores pela absorção do campo pela matéria são: constante dielétrica, condutividade, geometria e conteúdo de água existente na matéria. Como no corpo humano a composição do tecido não é uniforme, diferentes faixas de frequência podem apresentar diferentes taxas de condutividade e constante dielétrica (ELBERN, 199-?).

Devido ao aumento da utilização de equipamentos e sistemas que produzem campos eletromagnéticos nessa faixa de frequência, o estudo dos efeitos da exposição às radiações não ionizantes atraiu o olhar de toda a comunidade científica e das agências regulamentadoras para estabelecer limites em relação aos níveis de exposição.

Em âmbito nacional, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) classifica a exposição, na resolução n. 303, de 02 de julho de 2002, em: Exposição Ocupacional ou Exposição Controlada, situação em que pessoas são expostas às irradiações em função do seu trabalho e estão cientes dessa exposição podendo tomar medidas preventivas e Exposição da População em Geral ou Exposição Não Controlada, situação em que a população em geral está exposta às irradiações, podendo ser por consequência do trabalho, mas sem estarem cientes dessa exposição e sem a possibilidade de adotar medidas preventivas Anatel (2002).

Com o desenvolvimento das tecnologias para telecomunicações, a busca por modernidade, praticidade e mobilidade vêm aumentando o uso de telefones celulares em todas as esferas da sociedade, seja para entretenimento, seja para fins profissionais. Dessa forma, para garantir o funcionamento do sistema de telefonia celular, as estações rádio base, as quais utilizam portadoras que produzem ondas na faixa de frequência das radiações não ionizantes, estão instaladas por toda a cidade, embora esses sistemas estejam se tornando cada vez mais essenciais para a sociedade e tragam diversos benefícios, há possíveis efeitos negativos que as radiações eletromagnéticas podem causar.

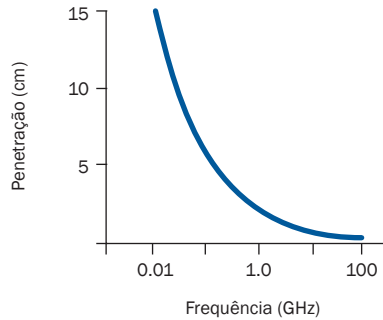
Os efeitos da exposição às radiações não ionizantes podem ser divididos em efeitos térmicos, que são decorrentes do aumento da temperatura pela incidência de ondas eletromagnéticas na matéria, e efeitos não térmicos, que não são responsáveis por aumento de temperatura, mas são efeitos bioquímicos e físicos. Os campos produzidos pelas antenas das ERB apresentam comportamentos distintos em duas regiões diferentes, a região de campo próximo, relacionada com a exposição ocupacional, e a região de campo distante, relacionada com a exposição da população geral.

Outro fator importante a ser analisado sobre a interação das radiações eletromagnéticas com a matéria é a profundidade de penetração da radiação, chamado de Efeito *Skin*, e segundo Elbern (199-?), pode ser definido como sendo a profundidade na qual aproximadamente 86,5% da energia é dissipada. Essa profundidade é determinada através do material em exposição e da frequência, obedecendo a seguinte relação:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu}} \quad (1)$$

O mesmo autor apresenta, ainda, o perfil da variação da profundidade de penetração da energia da onda em função da frequência a partir do Gráfico 1 (ELBERN, 2012 p. 4).

Os limites impostos pelas agências regulamentadoras e analisados pela comunidade científica têm sido com foco nas emissões de radiação que atinge a população em geral, nas regiões de campo distante, faltando, muitas vezes, informações sobre a região de campo próximo, que atinge diretamente os operadores das ERB que estão constantemente expostos às radiações.



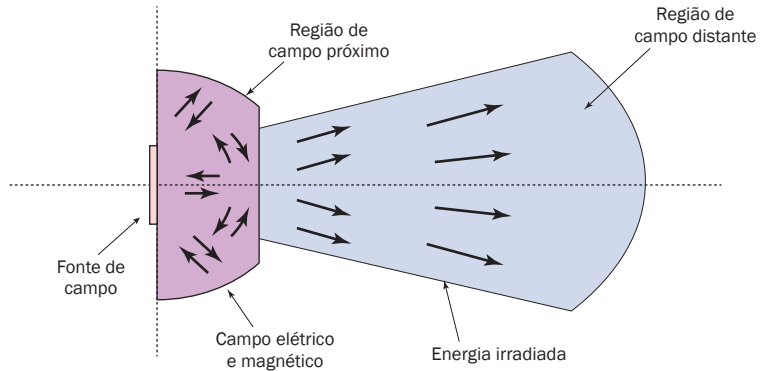
**Gráfico 1** Variação da profundidade de penetração em função da frequência

Fonte: Elbern (2012, p. 4).

### 3 DEFINIÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas eletromagnéticas são compostas de duas componentes: campos elétricos  $\vec{E}$  e um campo magnético  $\vec{H}$  em que a variação do campo elétrico no tempo resultará em um campo magnético induzido. De modo similar, a variação de um campo magnético no tempo resultará em um campo elétrico induzido. A presença de um campo magnético variável no tempo implica um campo elétrico variável no tempo que induzirá um campo magnético e isso ocorrerá sucessivamente. Sempre que houver a variação de uma dessas grandezas no tempo, a outra também estará presente por indução, resultando na onda eletromagnética, uma sucessão de campos elétricos e magnéticos que se induzem mutuamente e se afastam da origem.

Em um ponto perto da fonte as características do campo estão diretamente relacionadas com as características dessa fonte, em regiões afastadas as características do campo estão mais relacionadas com o meio em que o campo está propagando. Dessa forma, para estudo dos campos de radiofrequência, são definidas duas regiões em que o campo apresenta propriedades diferentes como mostra a Figura 2, a região de campo próximo e a região de campo distante.



**Figura 2** Regiões de campo próximo e campo distante.

Fonte: Paulino (2001, p. 20).

As relações analíticas gerais para o campo elétrico  $\vec{E}$  e um campo magnético  $\vec{H}$  são estabelecidas através das Equações 2, 3, 4 e 5, conforme indicado em Balanis (2009).

$$E_r = \frac{I_0 e^{j(\omega t - \beta r)} \cos \theta}{2\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{r^2 c} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] \quad (2)$$

$$E_\theta = \frac{I_0 e^{j(\omega t - \beta r)} \text{sen} \theta}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{j\omega}{rc^2} + \frac{1}{r^2 c} + \frac{1}{j\omega r^3} \right] \quad (3)$$

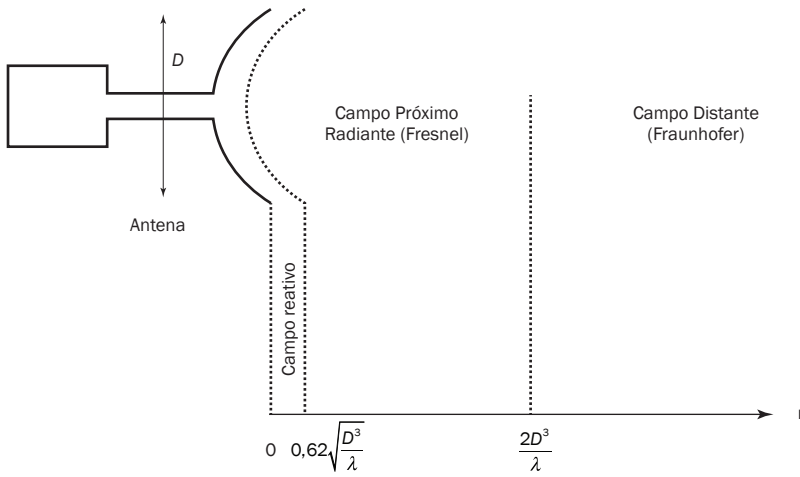
$$H = \frac{I_0 e^{j(\omega t - \beta r)} \text{sen} \theta}{4\pi} \left[ \frac{j\omega}{rc} + \frac{1}{r^2} \right] \quad (4)$$

$$E = H_r = H_\theta = 0 \quad (5)$$

A região de campo próximo, também chamada de região de Fresnel, pertence à região em que  $r \ll \lambda$ , essa região pode ser delimitada matematicamente por meio

da relação  $r > 2D^2/\lambda$ , sendo  $D$  a maior dimensão física da antena e  $\lambda$  o comprimento de onda.

A região de campo próximo pode ser subdividida em Campo Reativo e Campo Próximo Radiante como mostra a Figura 3.



**Figura 3** Campos em uma antena radiante.

Fonte: Modificado de Gomes (2000, p. 5).

Na região de campo próximo, o comportamento da onda pode ser aproximado ao comportamento da onda em região de campo distante, assumindo o comportamento de uma onda plana, em alguns casos em que  $D$  é muito maior que o comprimento de onda  $\lambda$ , a região de campo próximo radiante pode ser desconsiderada, restando apenas as regiões de campo reativo e campo distante.

A região de campo reativo é onde se concentra a maior parte de energia gerada pela antena; diferente da região de campo distante, nessa região pode haver a predominância de um campo magnético ou de um campo elétrico, sendo o campo predominante determinado pela intensidade de corrente e tensão da fonte, pois se a fonte apresentar corrente alta e tensão baixa, a impedância da onda será inferior à impedância do espaço livre ( $E/H < 120\pi$ ), e o campo é predominantemente magnético. Se a fonte apresentar baixa corrente e tensão alta, a impedância da onda será superior à impedância do espaço livre ( $E/H > 120\pi$ ) e o campo será predominantemente elétrico (SARKIS, 2000).



Por meio das Equações analíticas gerais 2, 3, 4 e 5, considerando  $r \rightarrow 0$  também é possível obter as equações analíticas para a região de campo reativo:

$$E_r = \frac{I_0 l e^{j(\omega t - \beta r)} \cos \theta}{2\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{j\omega r^3} \right] = \frac{I_0 l e^{j(\omega t - \beta r - \frac{\pi}{2})} \cos \theta}{2\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{\omega r^3} \right] \quad (6)$$

$$E_\theta = \frac{I_0 l e^{j(\omega t - \beta r)} \text{sen} \theta}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{j\omega r^3} \right] = \frac{I_0 l e^{j(\omega t - \beta r - \frac{\pi}{2})} \text{sen} \theta}{4\pi \epsilon_0} \left[ \frac{1}{\omega r^3} \right] \quad (7)$$

$$H_\phi = \frac{I_0 l e^{j(\omega t - \beta r)} \text{sen} \theta}{4\pi} \left[ \frac{1}{r^2} \right] \quad (8)$$

$$E_\phi = H_r = H_\theta = 0 \quad (9)$$

## 4 REGULAMENTAÇÕES E SUAS LIMITAÇÕES

A fim de evitar os possíveis efeitos causados pela exposição às radiações eletromagnéticas é necessário que haja regulamentações que limitem essa exposição e cobrem as operadoras de telecomunicações para que suas instalações e ERB estejam respeitando os limites que são impostos, com a finalidade de garantir a segurança e qualidade de vida da população que vive ao redor dessas instalações, e também dos trabalhadores que realizam manutenção e supervisão dos sistemas de telecomunicações.

Diferentes normas têm sido propostas para essa finalidade, dentre as que mais se destacam estão a C95.1 de 1992, conforme indicado por The Institute of Electrical and Electronics Engineers/American National Standards Institute (IEEE/Ansi), adotadas nos Estados Unidos. Nos países europeus, a norma adotada é a ENV50166-2 do International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection/Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (ICNIRP/Cenelec).

No Brasil, o órgão responsável por estabelecer os limites de segurança para o uso da faixa de frequência das telecomunicações é a Anatel que foi criada em 1997. A Anatel adotou os valores sugeridos pelo ICNIRP, que são os índices de proteção contra exposições a radiações não ionizantes mais difundidos. Essa adoção foi feita por meio da Resolução 303, de 2 de julho de 2002, a qual aprova o regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9kHz e 300 GHz.

A Anatel divide as limitações a radiações eletromagnéticas em limites para exposição ocupacional como mostra a Tabela 1, onde estão indicados, portanto, os valores limites de campo elétrico e campo magnético com respectivas densidades de potência em ( $W/m^2$ ) para diferentes faixas de frequência.

TABELA 1

Limites para exposição ocupacional

Range de Frequências	Intens. De campo elétrico (V/m)	Intens. de campo magnético (A/m)	Densidade de potência ( $W/m^2$ )
9kHz to 65kHz	610	24.4	-
0,065MHz to 1MHz	610	$1.6/f$	-
1MHz to 10MHz	$610/f$	$1.6/f$	-
10MHz to 400MHz	61	0.16	10
400MHz to 2000MHz	$3 f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
2GHz to 300GHz	137	0.36	50
9kHz to 65kHz	610	24.4	-

Fonte: Anatel (2002, p. 6).

Segundo a Anatel (2002, p. 13), as distâncias mínimas das antenas de estações transmissoras para atendimento aos limites de exposição ocupacional podem ser calculadas de acordo com a Tabela 2. Nesse caso,  $f$  representa a frequência de operação, e  $EIRP$  trata da potência efetivamente irradiada pela antena, para cálculo das distâncias mínimas de exposição “ $r$ ”.

TABELA 2

Distâncias mínimas

Faixa de Radiofrequências	Exposição Ocupacional	
1 MHz a 10 MHz	$r = 0,0144 * f * \sqrt{eirp}$	$r = 0,0184 * f * \sqrt{erp}$
10 MHz a 400 MHz	$r = 0,0143 * f * \sqrt{eirp}$	$r = 0,184 * \sqrt{eirp}$
400 MHz a 2000 MHz	$r = 2,92 * \sqrt{eirp/f}$	$r = 3,74 * f * \sqrt{erp/f}$
2000 MHz a 300000 MHz	$r = 0,0638 * f * \sqrt{eirp}$	$r = 0,0819 * \sqrt{erp}$

Fonte: Anatel (2002, p. 13).

## 5 CÁLCULOS DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Para o cálculo dos valores do campo elétrico, do campo magnético e da densidade de potência irradiada por uma antena comercial, foram utilizadas as Equações 10, 11, 12, 13 e 14.

$$E_r = -j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi Kr^3} \cos\theta \quad (10)$$

$$E_\theta = -j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{4\pi Kr^3} \sin\theta \quad (11)$$

$$H_\phi = \frac{I_0 e^{-jkr}}{4\pi Kr^2} \sin\theta \quad (12)$$

$$S_r = \frac{\eta I_0^2 l^2 K^4 \sin\theta}{2\pi} e^{-j2Kr} \left( \frac{1}{jKr} \right)^5 \cdot \left( \frac{-\sin\theta}{16} \right) \quad (13)$$

$$S_\theta = -\frac{\eta I_0^2 l^2 K^4 \sin\theta}{2\pi} e^{-j2Kr} \left( \frac{1}{jKr} \right)^5 \cdot \left( \frac{-\cos\theta}{8} \right) \quad (14)$$

De acordo com os dados da antena disponibilizados em catálogo foi possível determinar os valores necessários para os cálculos:

$$I_0 = 1,6 \text{ A};$$

$$D = 1,934 \text{ m};$$

$$f = 1800 \text{ MHz};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s};$$

$$\lambda = c/f = 0,1667 \text{ m};$$

$$K = (2 \cdot \pi) / \lambda = 37,6991 \text{ rad/m};$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \frac{K}{\omega \epsilon} = 376,6478 \Omega .$$

Foram calculados os campos elétrico e magnético e a densidade de potência para as distâncias de 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm e 1 m a fim de observar o perfil de atenuação das grandezas analisadas e comparar os valores obtidos com as limitações regulamentadas pela Anatel.

Como resultado as Tabelas 3 e 4 mostram, respectivamente, o módulo da potência em ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), e a relação entre o campo elétrico E (V/m), magnético H (A/m) e a densidade de potência em ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) associada.

**TABELA 3**

Módulo da densidade de potência

Distância (m)	Densidade de Potência (W/m <sup>2</sup> )
0,1	38445,508∠-162
0,2	1201,422∠126
0,3	158,212∠54
0,4	37,544∠-18
0,5	12,302∠-90
0,6	4,944∠-162
0,7	2,287∠126
0,8	1,173∠54
0,9	0,651∠-18
1,0	0,384∠-90

Fonte: Elaboração do autor.

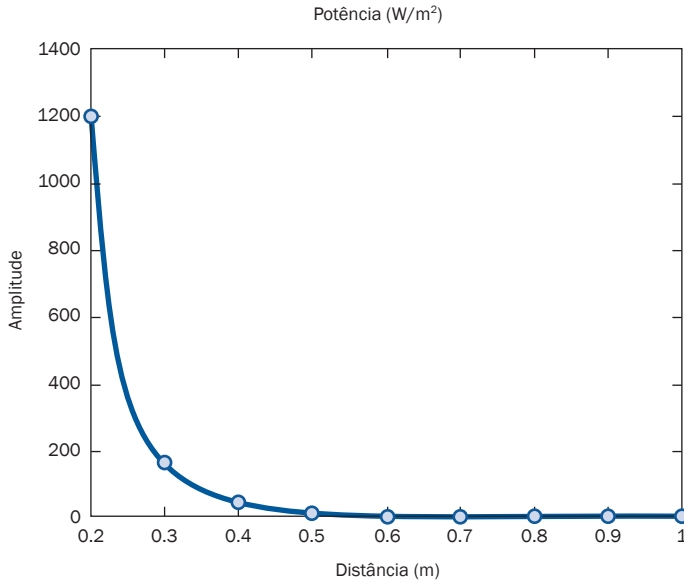
**TABELA 4**

Campo elétrico, magnético e densidade de potência

Distância (m)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m <sup>2</sup> )
0,1	6721,399	11,313	38445,508
0,2	840,175	1,414	1201,422
0,3	248,941	0,419	158,212
0,4	105,022	0,178	37,544
0,5	53,771	0,090	12,302
0,6	31,117	0,052	4,944
0,7	19,596	0,033	2,287
0,8	13,128	0,022	1,173
0,9	9,220	0,015	0,651
1,0	6,721	0,011	0,384

Fonte: Elaboração do autor.

Por sua vez, o Gráfico 2 mostra a variação da densidade de potência em ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) em função da potência.



**Gráfico 2** Perfil da Densidade de Potência ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Fonte: Elaboração do autor.

## 6 CONCLUSÃO

Como o objetivo do trabalho é realizar um estudo sobre emissões de ondas eletromagnéticas em ERB em região de campo próximo, a fim de analisar quais são as mínimas distâncias seguras para a realização de manutenção em sistemas irradiantes, é necessário observar os valores limites estipulados pela Anatel e recomendados por órgãos internacionais como o ICNIRP, e comparar com os valores obtidos por meio das simulações.

Na Tabela 1, limites para exposição ocupacional, na faixa de 400 MHz a 2.000 MHz, englobando a frequência de operação da antena utilizada de 1.800 MHz, a Anatel limita a intensidade de Campo Elétrico em  $3f^{1/2}$  (V/m), a intensidade de Campo Magnético  $0,008f^{1/2}$  (A/m) e a densidade de potência de onda plana equivalente em  $f/40$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), sendo  $f$  a frequência de operação da antena em MHz.

Calculando para a frequência de 1.800 MHz, obtemos as seguintes limitações:

$$E = 3 f^{1/2} = 127,28(V/m), \quad H = 0,008 f^{1/2} = 0,34(A/m), \quad S = f/40 = 45(W/m^2).$$

Observando a Tabela 3 – módulo da potência, pode-se constatar que a uma distância de 40 cm da antena o valor da potência é de  $37,544 \text{ W/m}^2$ , e a uma distância de 30 cm da antena o valor da potência é de  $158,212 \text{ W/m}^2$ , mostrando que o limite está entre 30 e 40 cm, ao comparar com o valor calculado anteriormente para 1.800 MHz, ou seja,  $S=45 \text{ (W/m}^2\text{)}$ .

Calculou-se a potência equivalente isotropicamente radiada (EIRP) em Watt através da equação informada pela Anatel, ou seja,  $EIRP = (S \times 4 \times \pi \times r^2)/2,56$ . No caso analisado a EIRP da antena considerada para a distância de 40 cm é de  $29,487 \text{ W}$ , utilizando as fórmulas de cálculo para distâncias mínimas para exposição ocupacional utilizado pela Anatel na Tabela 2 – distâncias mínimas, para a faixa utilizada a distância mínima é calculada através da seguinte equação  $r = 2,92\sqrt{(EIRP/f)}$ , a distância mínima encontrada é de  $37,4 \text{ cm}$ , confirmando que o limite está entre a faixa de 30 e 40 cm. Caso esse limite seja ultrapassado, a exposição às ondas eletromagnéticas de antenas comerciais utilizadas pelas estações rádio base podem provocar efeitos biológicos, que causem algum dano à saúde do operador, o qual pode estar suscetível a sofrer com os possíveis efeitos da exposição à radiação eletromagnética apresentados neste estudo, ultrapassando o tempo médio utilizado para os cálculos da Anatel que é a exposição durante 6 minutos.

## EMISSION OF ELECTROMAGNETIC WAVES FROM BASE STATIONS IN THE NEAR FIELD: SAFE DISTANCES TO PERFORM MAINTENANCE ON RADIATING SYSTEMS

### Abstract

This paper shows the study of the possible effects to the health by the magnetic fields and a correlation among the level that technicians are exposed and figure out a secure distance. It was calculated the electric field, the magnetic field and the power density levels using a MATLAB script, and the results were compared to the limitations stipulated by ANATEL, and to determine a secure distance using the parameters of an available antenna on the 1800MHz range. It was possible to determine that a secure distance to the maintenance is between 30 cm and 40 cm, for an exposure during 6 minutes, time that ANATEL used to its limitations.

**Keywords:** Non-ionizing radiation. Radio base station. Electromagnetic field exposure.

---

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. 303: Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 KHz e 300 GHz. 1. ed. São Paulo: Anatel, 2002. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em: 9 jun. 2015.

BALANIS, C. A. *Teoria de Antenas: análise e síntese*. 3. ed. São Paulo: Ltc, 2009. 370 p. v. 1.

CRUZ, S. C. da. *Verificação dos níveis de radiação emitidos pelas Antenas das ERB e a percepção das comunidades próximas*. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8044/8044\\_1.PDF](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/8044/8044_1.PDF)>. Acesso em: 9 jun. 2015.

ELBERN, A. *Radiações não ionizantes – Conceitos, riscos e normas*. Disponível em: <<http://www.prorad.com.br>> Acesso em: 22 out. 2015.

GOMES, A. M. N. *Análise do comportamento em campo próximo para antenas de comunicações móveis*. 2000. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)–Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2000.

PAULINO, J. O. S. *Radiações eletromagnéticas não-ionizantes emitidas pelas antenas fixas de telefonia celular*. Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG, 2001. Disponível em: <[http://www.higieneocupacional.com.br/download/antenas\\_celular\\_paulino.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/antenas_celular_paulino.pdf)>. Acesso em: 10 jun.2015

SARKIS, C. D. *Blindagem eletromagnética*. Trabalho da Disciplina Teoria de Materiais, 1º Semestre de 2000. Prof. Jaime Arturo Ramírez.

### Contato

Marcos Stefanelli Vieira  
marcos.vieira@mackenzie.br

### Tramitação

Recebido em fevereiro de 2017.  
Aprovado em maio de 2017.