

# AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS GERADOS POR REDE ELÉTRICA DE MÉDIA EM 13.8 KV DA UFERSA, CAMPUS MOSSORÓ: ESTUDO SOBRE UMA EXPOSIÇÃO POPULACIONAL NA UFERSA

Clara L. S. Carvalho<sup>1</sup>, Amanda L. F. Agra<sup>1</sup>, Humberto Dionísio de Andrade<sup>1</sup>, José Lucas da Silva Paiva<sup>1</sup>, Ana Luiza de Figueiredo<sup>1</sup>, Matheus Emanuel Tavares Sousa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Engenharias – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)  
Caixa Postal 137 – 59625-900 – Mossoró – RN – Brasil

carvalhoclara0@gmail.com, , amandaagra@gmail.com,  
humbertodionisio@ufersa.edu.br, jose.paiva@ufersa.edu.br,  
eng.anafigueiredo@gmail.com, matheus.sousa@ufersa.edu.br

**Abstract.** *Nonionizing radiations have been known for decades, there being many studies about their impact on the human body. Based on that, it has been created international rules that define the allowed levels of magnetic and electrical fields that the common and the occupational public can be exposed to. In this context, this article will take notes of measurements made along the electrical system of Universidade Federal Rural do Semi-Árido, in Mossoró, Rio Grande do Norte, Brazil, with the help of a field sense monitor in order to check if the levels of the fields in which students, professors and workers at the university are exposed are in agreement with the international rules accepted. The results have been satisfactory for the subject of study, with all the international rules being followed.*

**Resumo.** *As radiações não ionizantes são conhecidas a várias décadas, havendo vários estudos acerca de suas consequências no corpo humano. Baseando-se nesses estudos, foram criadas normas internacionais que definem os níveis de intensidade dos campos elétricos e magnéticos em que é permitido expor o público comum e o público ocupacional. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo fazer medições ao longo do sistema de distribuição da Universidade Federal Rural do Semi-Árido em Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil, com o auxílio de um medidor de espaço livre para averiguar os níveis dos campos em que os estudantes, professores e funcionários da instituição são expostos e se essas medições se encontram dentro dos níveis permitidos definidos pelas normas internacionalmente aceitas e vigentes. Os resultados foram satisfatórios para o local, estando enquadrados nas normas.*

## **1. Introdução**

O avanço tecnológico e a evolução de hábitos da população têm implicado no aumento do consumo de energia elétrica. Esse aumento deve ser acompanhado com devidos sistemas que garantam segurança à instalação, aos seres humanos e a matriz energética mundial. Dessa forma, torna-se necessário a construção de instalações como subestações, usinas geradoras de energia e linhas de transmissão, bastante encontradas em bairros residenciais nas cidades, onde muitas pessoas convivem.

Essas instalações têm, como consequência, a formação de campos elétricos e magnéticos, cujos efeitos sobre o corpo humano ainda não são totalmente entendidos, porém, há a necessidade de prevenir danos à saúde a partir do que já se tem conhecimento, como a indução de correntes elétricas nos tecidos humanos a partir de certo nível de campo magnético.

Para isso, foram criadas várias normas internacionais e nacionais para delimitar os níveis de campos elétricos e magnéticos máximos para garantir a saúde da população que tem contato próximo com essas instalações. Esse trabalho tomou-as como base para fazer um estudo de campo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido na cidade de Mossoró no Rio Grande do Norte, Brasil. Esse estudo tem como objetivo determinar se os níveis de campos na universidade estão enquadrados ou não nas normas vigentes.

## **2. Embasamento teórico**

### **2.1. Campos eletromagnéticos**

Faraday, em 1831, provou que campos magnéticos variantes no tempo induzem a formação de campos elétricos variantes no tempo. Então, em 1873, Maxwell previu sua interdependência, os denominando campos eletromagnéticos [PAUL 2012]. Apesar disso, as análises de campos elétricos e magnéticos podem ser feitas separadamente sob baixas frequências, encontradas nas linhas de transmissão do sistema elétrico em estudo [FREITAS 2017].

Além disso, para campos eletromagnéticos, a distância da fonte radiante implica em suas características como intensidade sobre um corpo [MURTA 2002]. Dessa forma, há a necessidade da medida da influência de um campo em mais de um ponto de distância de uma linha de transmissão. Para baixas frequências, como é o caso em estudo, os campos podem ser classificados como campos estáticos [CAMARGO 2009], e os máximos e mínimos dos campos elétricos e magnéticos não coincidem, então, devem ser feitas medidas distintas para cada um [MURTA 2002].

#### **2.1.1. Campos magnéticos**

Os campos magnéticos exercem força sobre uma carga quando ela se desloca. Em outras palavras, haverá um campo magnético atuando sobre uma carga quando houver passagem de corrente [MARTINS 2000], sendo a sua variação essencial para a existência do campo, uma vez que ele depende fisicamente de a corrente não ser constante. Dessa forma, quanto maior a intensidade de corrente que flui em um material, maior a intensidade do campo magnético e de seu fluxo [KUSTER 2011]. Apesar disso, sua propagação e intensidade não são influenciados pela presença de corpos externos como pessoas, objetos, edificações nas redondezas da fonte [BELARDO *et al* 2004].

### 2.1.2. Campos elétricos

Cargas elétricas induzem a presença de um campo elétrico, que atuam sobre pontos no espaço sobre sua influência. Nas linhas de transmissão, as cargas se mostram em sua superfície condutiva, e o campo elétrico representa a força que pode ser aplicada à uma carga unitária elementar localizada em um ponto no espaço, podendo ser calculado pela soma vetorial das contribuições de cada carga desta distribuição.

O campo elétrico é influenciado por corpos presentes, como objetos, edifícios e seres vivos, interferindo em sua intensidade. Além disso, sua intensidade é influenciada pela tensão aplicada, não dependendo da existência de corrente elétrica. Por exemplo, em linhas de transmissão, a existência de campos elétricos é consequência das tensões em seus terminais, de sua geometria e de corpos próximos [KUSTER 2011].

### 2.2. Exposição a campos elétricos e magnéticos

Apesar de não haver muitas pesquisas conclusivas sobre os efeitos dos campos eletromagnéticos no corpo humano, há uma preocupação sobre o assunto por parte do público geral e acadêmico sobre as interações desses campos com o corpo humano através de fontes como linhas de transmissão, subestações, radares e dispositivos eletrônicos e elétricos no geral [OMS 2002].

Nesse contexto, os efeitos sobre o corpo humano podem apresentar duração longa ou curta e são ocasionados pelos campos a baixas frequências, induzindo correntes nos tecidos humanos. Os efeitos de curto prazo têm como exemplos a estimulação de células nervosas cerebrais, estimulação de nervos periféricos, de músculos, choques, queimaduras, dificuldades respiratórias e fibrilação ventricular [BELARDO *et al* 2004]. Os efeitos a longo prazo são menos entendidos e estudados, sendo seu efeito sobre o corpo humano uma incógnita [KUSTER 2011], apesar de estudos que datam da década de 70 apontam como consequência a leucemia infantil [SILVA 2009].

### 2.3. Normas

Para garantir a segurança da população exposta a campos eletromagnéticos em seu dia a dia, foi criada a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não ionizantes (ICNIRP) [ANATEL 1999], que rege os níveis máximos de campos que as instalações elétricas podem ter, diferindo de níveis para a população ocupacional (trabalhadores que escolhem estar expostos a essas radiações não-ionizantes, tendo plena noção dos seus possíveis riscos à saúde) e para a população geral (cidadãos comuns que não têm escolha sobre sua exposição) [MARTINS 2000].

As medições dos campos elétricos e magnéticos são regidos pela ABNT NBR 25415 (2016), definidos os métodos adequados para as medições dos campos para verificar o enquadramento dos campos nos níveis permitidos adotados pela ANEEL a partir da resolução nº 616 de 2014. As medições se baseiam em diretrizes internacionais como a ANSI/IEEE C95.1 e a norma ICNIRP (Tabela 1) [MARTINS 2000].

**Tabela 1. Limites permitidos dos campos elétricos e magnéticos.**

Tipo de público	Instalações em 50 Hz		Instalações em 60 Hz	
	Campo Elétrico	Campo magnético	Campo Elétrico	Campo magnético

	(kV/m)	( $\mu$ T)	(kV/m)	( $\mu$ T)
<b>Geral</b>	5,00	200,00	4,17	200,00
<b>Ocupacional</b>	10,00	1000,00	8,33	1000,00

### 3. Metodologia

A medição dos campos foi feita a partir do TM-190 da TENMARS (Figura 1), um medidor de espaço livre que realiza medições em três eixos, justamente desenvolvido para medir campos elétricos e magnéticos de 50 ou 60 Hz, possuindo um alcance de intensidade de campo elétrico entre 50 V/m e de campo magnético entre 2 a 200  $\mu$ T [TENMARS ELECTRONICS 2010].



**Figura 1. Medidor TM-190 da TENMARS.**

As medidas foram tomadas a partir das referências definidas pela ABNT NBR 25415, 2016 (Figura 2), que define que os medidores de espaço livre medem a magnitude do campo elétrico em um ponto que não está em contato condutivo com a terra. Então, as medidas foram tomadas a partir da utilização de um tripé para manter o equipamento elevado e fora do alcance de condução entre ele e a terra.



**Figura 2. Medidor TM-190 da TENMARS.**

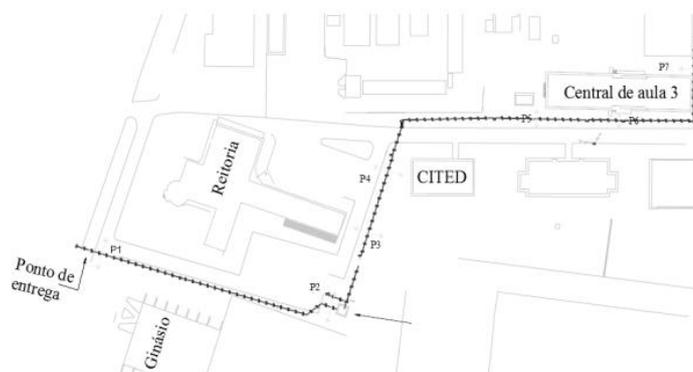
O sistema é constituído de duas partes: um sensor sensível aos campos e um processador que comunica seu valor eficaz através de sua interface analógica ou digital. O dispositivo fazer medições em três eixos é ideal para haver um controle de onde se propaga

a fonte radiante com mais assertividade [ABNT NBR 25415 2016]. O sistema foi montado sobre um tripé para garantir a distância requerida por norma do solo (Figura 3).

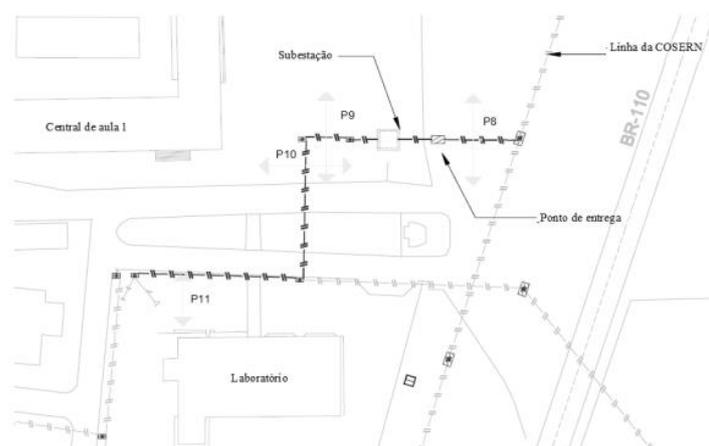


**Figura 3. Tripé e medidor posicionados para medição em diferentes pontos.**

A universidade em questão possui o lado leste (Figura 4) e o oeste (Figura 5), alimentados a 13,8 kV, cujos períodos de máximo carregamento acontecem entre as 15h e 15h45. As medições foram feitas ao longo de parte da rede de distribuição dos dois lados da instituição, levando em conta pontos estratégicos, como pontos de entrega da linha, pontos próximos às subestações e edificações da universidade, onde há um alto trânsito de pessoas.



**Figura 4. Croquis de medição do campus leste.**



**Figura 5. Campus oeste.**

Em linhas apontadas pela seta “Linha da Cosern” e envolvendo os prédios estão as estruturas de referência, as setas indicam os pontos e as direções das medições e as parcelas de linhas pausadas com blocos correspondem às linhas cujos níveis de campo elétrico e magnético foram referidos.

Foram escolhidos 11 pontos ao longo do sistema de distribuição (Tabela 2) e para cada ponto foram feitas medições perpendicularmente à linha de distribuição, 7,5 m para cada lado a partir do eixo da linha. Cada medição nesse eixo perpendicular foi feita a 1 m de distância de uma para a outra. É válido mencionar que nem todos os pontos permitiram que as medições tomassem os 7,5 m ideais de medição devido as limitações físicas dos locais a partir de edifícios e objetos grandes. Dessa forma, os pontos ao longo das linhas de distribuição foram escolhidos de forma a cada fração de linha possuir ao menos dois pontos a serem analisados, mas também houve limitações físicas em alguns pontos, sem haver a possibilidade de fazer a medição de mais de um ponto por fração.

**Tabela 2. Pontos de medição.**

Parcela das linhas de transmissão	Estruturas de referência	Ponto indicado no coqui	Campus
LT - 1	Entre o ponto de entrega e a subestação	P1, P2	Leste
LT - 2	Entre a subestação e o CITED	P3, P4	
LT - 3	Central de Aulas 3	P5, P6	
LT - 4	Na lateral do Central de Aula 3	P7	
LT - 5	Entre o ponto de entrega e a linha da COSERN	P8	Oeste
LT - 6	Entre a subestação	P9, P10	

	e a central de aula 1	
LT - 7	Próximo ao laboratório	P11

#### 4. Resultados

Os 11 pontos ao longo dos dois lados da universidade foram compilados na Tabela 3, que apresenta um resumo das máximas magnitudes de campo elétrico e magnético obtido para cada linha e seus respectivos pontos, para que fossem comparados suas piores situações analisadas com os máximos permitidos pelas normas vigentes, cujos níveis de referência foram de 4,17 kV/m e 200  $\mu$ T para público em geral, determinados pela ANEEL.

**Tabela 3. Medições máximas de campos elétricos e magnéticos nos pontos analisados.**

Pontos de medição	Campo elétrico (kV/m)	Campo magnético ( $\mu$ T)
P1	0,017	0,29
P2	0,062	0,18
P3	0,023	0,17
P4	0,017	0,13
P5	0,02	0,2
P6	0,017	0,14
P7	0,017	0,17
P8	0,026	0,72
P9	0,038	0,07
P10	0,032	0,07
P11	0,017	0,05

Os valores máximos de campo magnético são obtidos nos pontos P8 e P1, que se localizam próximos da linha de alimentação da concessionária, ou seja, estão perto do maior carregamento do sistema. Já os valores de campos elétricos são maiores em P2 e em P9, que são próximos as subestações.

Em suma, os valores máximos obtidos são de 0,062 kV/m para campo elétrico que corresponde a 1,5% do nível de referência adotado pela REN 616/2014 e de 0,72  $\mu$ T para campo magnético, que corresponde a uma quantidade ínfima do limite de exposição determinado.

#### 5. Conclusão

As medidas dos campos elétricos e magnéticos foram facilitados por meio do TM-190 da TENMARS, que mede campos em três eixos, e orientadas pela ABNT NBR 25415/2016. Dessa forma, as medidas garantiram segurança em seus resultados. Esses, que foram

satisfatórios, se enquadrando nas normas vigentes dos níveis permitidos de campos elétricos e magnéticos, se baseando na ANSI/IEEE C95.1 e a norma ICNIRP.

Seria de bastante relevância para o mundo e para a comunidade científica continuar com estudos nessa área para definir mais assertiva os efeitos de campos eletromagnéticos no corpo humano. É uma área relevante para o contexto atual de crescimento da demanda energética, implicando na existência de mais sistemas elétricos em que os seres humanos serão expostos.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 25415: Métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos na frequência de 50 Hz e 60Hz. Rio de Janeiro, 2016.

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações (Brasília). Diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 ghz). 1999. Disponível em: Acesso em: 26 set. 2016. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução normativa nº 616, de 01 de julho de 2014. Altera a Resolução Normativa nº 398, de 23 de março de 2010, que regulamenta a Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2014616.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

BELARDO, C.A. *et al.* Exposição Humana a Campos Elétricos e Magnéticos Gerados por Instalações Elétricas 50 e 60 Hz. 2004. Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação. Disponível em: . Acesso em: 02 out. 2016.

CAMARGO, Émerson Rossetto. Análise de exposição ao campo eletromagnético em subestações de energia elétrica. 2009. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FREITAS, C. A. F. D. Software Baseado em MATLAB para Cálculo e Análise Tridimensional de Campos Elétricos e Magnéticos em Linhas de Transmissão. João Pessoa, 2017. 62.

ICNIRP - International Commission On Non-Ionizing Radiation Protection (Germany). Health Physics Society. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 hz to 100 khz). 2010. Disponível em: . Acesso em: 03 nov. 2016.

KUSTER, Álvaro Claudino. AVALIAÇÃO DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO EM REGIÕES DENSAMENTE POVOADAS: pesquisa de opinião pública. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pesquisa Geração e Transferência de Tecnologia., Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento - Lactec, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2011.

MARTINS, Vilker Germano. Medição de campos eletromagnéticos em alta frequência (100 kHz a 3 GHz) gerados por equipamentos eletro-eletrônicos visando segurança pessoal. 2000. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MURTA, Marisa Lages. Avaliação do ambiente eletromagnético visando segurança pessoal: determinação do nível de “poluição eletromagnética” em Belo Horizonte. TEC2219/96. Belo Horizonte: FAPEMIG, 2002.

OMS – Organização Mundial de Saúde (Genebra). Estabelecendo um Diálogo Sobre Riscos de Campos Eletromagnéticos. 2002. Traduzida por Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL). Disponível em: . Acesso em: 2 out. 2016.

PAUL, Clayton R.. Eletromagnetismo para Engenheiros: com aplicações a sistemas digitais e interferência eletromagnética. Rio de Janeiro: LTC, 2012. Tradução de Marcelo de F. Guimarães.

SILVA, Rafael Monteiro da Cruz. Estudo da exposição humana a campos elétricos e magnéticos na frequência industrial utilizando métodos numéricos. 2009. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TENMARS ELECTRONICS. MULTI-FIELD EMF METER TM-190: User's anual. 2010.