

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

**EMIÇÃO DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NÃO IONIZANTE NA CIDADE
DO NATAL: AVALIAÇÃO E MODELAMENTO COM BASE NA INTENSIDADE DO
CAMPO ELÉTRICO E TAXA DE EXPOSIÇÃO**

FRED SIZENANDO ROSSITER PINHEIRO

**NATAL /RN
2015**

FRED SIZENANDO ROSSITER PINHEIRO

EMISSÃO DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NÃO IONIZANTE NA CIDADE DO NATAL: CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO E MODELAMENTO COM BASE NA INTENSIDADE DO CAMPO ELÉTRICO E NA TAXA DE EXPOSIÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciências da Saúde.

Orientadora: Técia Maria de Oliveira Maranhão

Co-Orientador: Mário Bernardo Filho

**NATAL/RN
2015**

Ficha Catalográfica

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial do Centro Ciências da Saúde - CCS

Pinheiro, Fred Sizenando Rossiter.

Emissão de radiação eletromagnética não ionizante na cidade do Natal: caracterização, avaliação e modelagem na intensidade do campo elétrico e na taxa de exposição / Fred Sizenando Rossiter Pinheiro. - Natal, 2017.
106f.: il.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde. Centro de Ciências da Saúde. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Orientador: George Dantas de Azevedo.

1. Radiação não ionizante - Tese. 2. Radiação eletromagnética - Exposição - Tese. 3. Campo elétrico - Tese. 4. Estações Rádio Base - Tese. I. Azevedo, George Dantas de. II. Título.

RN/UF/BS-CCS

CDU 613.648.2

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE**

Coordenador de Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde:
Prof. Dr. Eryvaldo Sócrates Tabosa Do Egito

FRED SIZENANDO ROSSITER PINHEIRO

EMIÇÃO DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NÃO IONIZANTE NA CIDADE DO NATAL: CARACTERIZAÇÃO, AVALIAÇÃO E MODELAMENTO COM BASE NA INTENSIDADE DO CAMPO ELÉTRICO E NA TAXA DE EXPOSIÇÃO

Aprovado em: 17/12/2015

Banca examinadora

Presidente da Banca: Prof^a: Dr^a: Técia Maria de Oliveira Maranhão

Membros da Banca

Prof^a: Dr^a: Técia Maria de Oliveira Maranhão
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN)

Prof^a : Dr^a. Tirzah Braz PettaLajus
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN)

Prof^a : Dr^a. Maria GorettiFreire de Carvalho
(Universidade Potiguar – UnP)

Prof.: Dr. André Pedro Fernandes Neto
(Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN)

Prof: Dr. Antonio Luiz Pereira de Siqueira Campos
(Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN)

DEDICATÓRIA

Esse trabalho é dedicado à memória dos meus pais João Sizenando Pinheiro Filho e Déa Rossiter Pinheiro e da minha filha Adriana Moura Rossiter Pinheiro.

Dedico também ao meu primeiro neto João Pedro Rossiter Nunes, que chegou em 2015 para me trazer mais alegrias.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar saúde e tudo na vida.

Aos professores Técia Maria de Oliveira Maranhão e Mário Bernardo Filho, pela eficiente orientação e por tudo que representam como pesquisadores de destaque e professores dedicados à causa da educação.

Ao professor e colega Márcio Eduardo da Costa Rodrigues, companheiro de Departamento, sempre solícito e prestativo no grupo de trabalho que atuamos na pesquisa sobre Radiações Não Ionizantes. Seu apoio foi de grande relevância.

Ao colega, amigo desde os tempos de estudante de Engenharia, professor Gutemberg Soares da Silva, grande incentivador da minha linha de trabalho e de quem recebi valiosas colaborações.

Aos engenheiros Orlando Krepke Leiros Dias e Lívio Peixoto do Nascimento, que facilitaram o acesso às informações da ANATEL, fundamentais para a condução da Tese.

Ao meu filho Rodrigo Rossiter, pela colaboração essencial nas traduções de inglês.

À minha filha médica Patrícia Rossiter, com quem pude discutir e tirar inúmeras dúvidas nos aspectos biológicos e das enfermidades correlacionadas com a RNI.

À minha esposa Fátima e minha filha Mônica, pelo apoio moral e incentivo permanente para não sair do foco.

A Aline Moura, pela ajuda amiga a qualquer hora, na formatação de textos e referências bibliográficas dos trabalhos.

Aos estudantes bolsistas da UFRN que participaram das medições em campo: Manuel Bouzas, João Paulo Lourenço, Thiago Palhares, André Severiano e Andrei de Abiahy.

Ao casal Luciana Melo e Carlos Sizenando, meu irmão, que insistiam em me ajudar, até quando eu não pedia a ajuda.

Ao Estatístico Jhonnata Carvalho que me auxiliou nos processamentos envolvendo Modelamentos estatísticos.

A Maria Pepita V. de Andrade, professora da UFRN, colega na Comissão de Avaliação da Docência, que me incentivou bastante para ingressar no PPGCSA.

RESUMO

O surgimento da Telefonia Celular, a partir dos anos 1990, e a construção frenética de torres nas cidades assustou a população, levou a comunidade científica mundial e os órgãos de controle ambiental a dar maior atenção às ondas eletromagnéticas não ionizantes. Um estado pobre como o Rio Grande do Norte evoluiu a quantidade de celulares em operação de 340 mil no ano 2002 para 4,6 milhões em 2014. No RN a quantidade de linhas celulares supera a própria população, com uma densidade de 128,98 acessos para cada 100 habitantes. Natal, a capital do RN, com 850 mil habitantes, já possui 882 Estações Rádio Base dos Sistemas celulares em 167,26 km² de área urbana. O objetivo do presente trabalho é fazer um diagnóstico sobre a exposição à radiação eletromagnética não ionizante em toda área urbana da Cidade. A metodologia usada levou em conta medições de intensidade das radiações feitas em 160 diferentes pontos da cidade. As medições foram feitas na faixa de 88MHz a 2.400 MHz. Os serviços de telecomunicações avaliados na pesquisa foram: TV (*Broadcasting*), Rádio FM (*Broadcasting*), Sistemas Celulares e WLAN (IEEE 802.11bg). Foram considerados para comparação os limites de exposição do ICNIRP (*International Commission on Non Ionization Protection*), parâmetros: “Intensidade de Campo Elétrico” e “Razão de Exposição” (ER). Resultados: de acordo com as medições realizadas, 48.48 % da exposição eletromagnética outdoor na cidade do Natal decorre da radiação emitida pelos transmissores de TV. Da mesma forma, constatou-se que, em 77,2 % dos pontos pesquisados, a intensidade do campo elétrico gerada pelas TVs supera todos os demais serviços de telecomunicações, inclusive a Telefonia Celular. A Taxa de Exposição (ER) média de Radiação Não Ionizante verificada para a faixa de frequência pesquisada foi de $4,43 \cdot 10^{-3}$, enquanto o valor máximo foi de $7,67 \cdot 10^{-2}$. Foi desenvolvido modelo para estimativa do Campo Elétrico gerado pelos transmissores das TVs em qualquer ponto da cidade. Utilizou-se a Técnica Estatística de Regressão Multivariada, a partir das 160 amostras. As equações finais obtidas permitem as estimativas com grau de precisão R^2 superior a 0,9, $p < 0,1$. Constatou-se que o expoente de atenuação para propagação de RF na cidade varia entre 2,8 e 3,8. A exposição eletromagnética à RNI em ambientes outdoor em Natal está em níveis abaixo dos limites de segurança definidos pelo ICNIRP e ANATEL. Os serviços que mais contribuem para RNI em Natal são: 1-TV, 2-Sistema Celular e 3-Rádios FMs.

Palavras-Chave: Radiação Não Ionizante; Campo Elétrico; Comunicações Móveis; Análise Multivariada; Exposição à Radiação; Televisão; Estações Rádio Base; Medições de RNI; Áreas urbanas.

ABSTRACT

The electromagnetic waves used in the telecommunication systems until the 1980's were considered by the governments environmental control organs as apparently "clean" forms of energy, whose effects weren't considered any harmful to people's health. The development of the mobile cellular telecommunication, beginning in the 1990's, and the frenetic construction of antennas in the cities' urban areas scared the population in general and turned the attention of the world's scientific community to the theme. In a poor Brazilian State, such as Rio Grande do Norte – RN (GDP:R\$ 51,4 billion in 2013) , the amount of cellular phones in operation went from 340.000 in 2002 to 4.6 million phones in 2014. In RN the number of cellular lines overcomes its own population, with a density of 128.98 accesses for each 100 inhabitants. Natal, the capital city of the State, with 850.000 inhabitants, already has 885 radio base stations of the cellular systems in 167.26 km² of urban area. The data is from ANATEL (august 2015). The objective of this work is to make a diagnosis about the actual situation of the emission of non-ionizing electromagnetic radiation in all urban area of the city of Natal. The methodology used took into account measurements of the intensity of the radiation taken in 160 different sites throughout the city. This radiation was measured in the range of 88MHz to 2.400 MHz. The collected data was compared to the limits of exposure of the ICNIRP (International Commission on Non Ionization Protection). The ICNIRP parameters used as reference were: "intensity of electric field" and "exposure ratio". The telecommunication services researched were: TV broadcasting, FM radio broadcasting, cellular systems and WLAN (IEE 802.11bg). The obtained results allowed the drawing of a map comparing the data between the measured values and the limits of exposure to RNI defined by ICNIRP and ANATEL. The evaluation criteria used was the parameters Intensity of Electric Field and Exposure Ratio (ER). Results: according to the measurements taken, 48.48% of the outdoor electromagnetic exposure in the municipality of Natal are originated from TV transmitters. Similarly, in 77.2% of the researched locations, the intensity of the electric field originated from TVs overcomes all the rest of the wireless telecommunication services, including the cellular system. Based on the information that the radiation emitted by the TV transmitters is the most relevant in the city, a model to estimate the intensity of the electric field resulting from this service in any point in town was developed. This model was developed based on multivariate regression techniques. The final equations

obtained allowed the estimative of the electric field with a level of precision $R^2 > 0,9$ and $p < 0,1$. It was found that the exponent RF propagation attenuation in Natal varies between 2.6 and 2.8. The average Exposure Rate (ER) to NIR observed in the researched frequency rate was of $4.43 \cdot 10^{-3}$, while the maximum value was of $7.67 \cdot 10^{-3}$.
Conclusions: The results of the study demonstrated that the levels of electromagnetic exposure to NIR in outdoor environments in the city of Natal are lower than the security limits set by ICNIRP and ANATEL. The services that contribute most to NIR in Natal are 1-TV, 2- Cellular System and 3-FM Radios.

Key-words: Non Ionizing Radiation; Electric Field; Mobile Communications; Multivariate Analysis; Exposure to Radiation; Television; Radio Base Stations; NIR Measurements; Urban Areas.

RESUMEN

Las olas electromagnéticas usadas en los servicios de telecomunicaciones, hasta los años 1980, eran tenidas por la población e por órganos de control ambiental como aparentemente energía “limpia”, cuyos efectos no eran considerados mínimamente perjudiciales a la salud. Con el surgimiento de la Telefonía Móvil Celular, desde 1990, y la construcción frenética de torres en áreas urbanas de ciudades de forma general asusto a la población e llevo a la comunidad científica mundial a darle una mayor atención al tema, intensificando la búsqueda sobre los posibles efectos biológicos de la exposición a esas radiaciones. Una provincia pobre, como Rio Grande do Norte (RN) (PIB: R\$ 51,4 millones en 2013), evoluciono la cantidad en operación de 340 mil en 2002 para 4,6 millones en 2014. En RN la cantidad de líneas celulares supera la propia población, con una densidad de 128,98 accesos para cada 100 habitantes. Natal, la capital de la provincia con 850 mil habitantes, ya posee 882 Estaciones de Radio Base de los Sistemas celulares en 167,26 km² de área urbana. Datos de la ANATEL (agosto de 2015). La metodología utilizada llevo en cuenta mediciones de intensidad de las radiaciones hechas en 160 diferentes puntos de la ciudad. Las radiaciones fueron medidas en una banda de 88MHz a 2.400 MHz. Los servicios de telecomunicaciones investigados en el estudio fueron: TV (Broadcasting), Rádio FM (Broadcasting), Sistemas Celulares e WLAN (IEEE802.11bg). Fueron considerados para la comparación los límites de exposición de la ICNIRP (International Commission on Non Ionization Protection), parámetros: “Intensidad de campo eléctrico” y “Razón de exposición” (Exposure ratio). En el presente trabajo, mediciones de Intensidad de Campo Eléctrico fueron efectuadas en 160 puntos externos cubriendo frecuencias entre 30 MHz a 3 GHz. Los servicios de telecomunicación constantes en el estudio fueron: TV (*Broadcasting*), Rádio FM (*Broadcasting*), Sistemas Celulares e WLAN (IEEE 802.11bg). Los resultados obtenidos permitieron dibujar un mapa comparativo entre los valores medidos y los límites de exposición a la RNI definidos por ICNIRP y ANATEL. Fue utilizado como criterio de evaluación los parámetros Razón de Exposición (ER). De acuerdo con las mediciones realizadas, 48,48% de la exposición electromagnética *outdoor* en la ciudad de Natal-RN deriva de la radiación emitido por los transmisores de TV. De la misma forma, se constato que, en 77,2% de los puntos investigados, la intensidad del campo eléctrico de las TVs supera todos los demás servicios de telecomunicaciones sin cable, incluyendo el servicio de telefonía

celular Con base en las informaciones que la radiación emitida por los transmisores de TV es la más relevante de la ciudad, fue desarrollado un modelo para estimar la Intensidad del Campo Eléctrico del servicio en cualquier punto de la ciudad. El modelo fue concedido con base en la Técnica Estadística de Regresión Multivariada, fueron utilizados 160 muestras de mediciones a lo largo de todos los barrios de la ciudad. Las ecuaciones obtenidas permitieron estimar el Campo Eléctrico con un grado de precisión $R^2 > 0,9$, $p < 0,1$. La Exposición (ER) media de RNI comprobada para la banda de frecuencia investigada fue de $4,43 \cdot 10^{-3}$, mientras el valor máximo fue de $7,67 \cdot 10^{-2}$, ambos los valores menores que 1. Conclusiones: los resultados del trabajo permiten diagnosticar que la exposición electromagnética a la RNI en ambientes outdoor en Natal-RN están en niveles inferiores a los límites de seguridad definidos por el ICNIRP y la ANATEL. Os servicios que más contribuyen a RNI son: 1- TV, 2 – Sistemas Celulares, 3- FM Radios.

Palabras llave: Radiación No Ionizante; Campo Eléctrico; Comunicaciones móviles; Análisis Multivariada; Exposición a la Radiación; Televisión; Estación de Radio Base; Medición de RNI; Áreas Urbanas.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABERT	Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão
AM	Modulação em Amplitude
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BW	<i>Band Width</i> (Largura de Banda)
CCC	Central de Comutação e Controle
CI	ConfidenceInterval
ERB	Estação Rádio Base
ELF	<i>Extreme LowFrequency</i>
ER	<i>ExposureRatio</i>
ERP	Potência efetivamente radiada
HF	Alta frequência, 100 KHz a 300GHz (definição ICNIRP)
HVAC	Sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado
IARC	<i>International Agency for Research in Cancer</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
ICNIRP	<i>International Commission of Non Ionizing Radiation Protection</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i> (Evolução a Longo Prazo)
OM	Ondas Médias
OMS	Organização Mundial da Saúde
OR	<i>OddsRatio</i> -Razão de Chances ou Razão de Possibilidades
RF	RádioFrequência
RMS	<i>Root Mean Square</i> (Valor Eficaz)
RNI	Radiação não ionizante
SAR	<i>SpecificAbsorption Rate</i>
SEMURB	Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente

UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UHF	Ultra Alta Frequência
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Taxa de Absorção Específica da Radiação Não Ionizante em animais e seres humanos.....	25
Equação 2 - Potência de RF recebida à uma determinada distância do transmissor sem obstáculos	54
Equação 3 - Intensidade do Campo Elétrico à uma determinada distância do transmissor.....	55
Equação 4 - Intensidade do Campo Elétrico em função da distância e da potência do transmissor.....	55
Equação 5 - Modelamento do Campo Elétrico gerado por diversos transmissores .	56
Equação 6 - Modelamento do Campo Elétrico gerado por 3 transmissores.....	58
Equação 7 - Especificação dos erros na aplicação do Modelo de Regressão	58
Inequação 8 - Razão de Exposição para RNI em multifrequências de RF.....	75
Equação 9 - Intensidade do Campo Elétrico em um ponto decorrente de três transmissores de RF	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro das radiações Ionizantes e Não Ionizantes.....	22
Figura 2 - Imagem termográfica indicando efeitos térmicos na cabeça humana.....	27
Figura 3 - Comparação de aferições de SAR em três estágios na cabeça de corpo humano (simulação com bonecos).....	28
Figura 4 - Área definida para Estudo de Avaliação da emissão de radiação não ionizante, envolve todo o município de Natal e mais parte de Parnamirim (regiões denominadas Nova Parnamirim e Emaús).....	32
Figura 5 - Densidade Demográfica por Área Geográfica na cidade do Natal.....	33
Figura 6 - Área em torno do Campus Universitário da UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) onde o Plano Diretor estabelece limites mais rígidos de gabarito para edifícios	34
Figura 7 - Evolução da quantidade de acessos celulares em operação no estado do Rio Grande do Norte	35
Figura 8 - Densidade de celulares por 100 Habitantes no Rio Grande do Norte de 2002 a 2014	37
Figura 9 - Localização das ERBs de Telefonia Móvel Celular em Natal (cada cor uma Operadora).....	39
Figura 10 - Caracterização de uma comunicação típica entre dois assinantes de operadora celular	40
Figura 11 - Torre de Estação Rádio Base celular localizada no topo de edifício no Bairro do Barro Vermelho.....	41
Figura 12 - Torre de ERB celular localizada no topo de edifício no cruzamento da Av. Prudente de Moraes com Rua Jundiaí, Bairro Tirol, Natal, RN	41
Figura 13 - Torres em topos de edifícios próximas à torre de concreto da Embratel/Claro entre a Rua Jundiaí e Av. Prudente de Moraes, bairro Tirol.....	41
Figura 14 - Detalhe da torre principal da Embratel /Claro na Rua Jundiaí, com predominância de antenas parabólicas.....	41
Figura 15 - Torres metálicas autoportantes de Estações celulares na via Costeira, Natal, setembro de 2015.....	42
Figura 16 - Localização dos Transmissores de TV em Natal: 1- Morro de Mãe Luíza. 2- Morro do Tirol (atrás da AABB), 3- Morro vizinho ao Bosque dos Namorados	43
Figura 17 - Torres de TV (Fund. Evangélica Boas Novas, etc.), Rádio FM e Celular no Morro de Mãe Luíza, Rua S. Pedro, Fonte: <i>Google Maps</i>	43
Figura 18 - Torre da TV-U no Parque das Dunas, Rua da Torre, Bairro Tirol.	44
Figura 19 - Área de forte concentração de torres no Morro do Tirol (TVs, Rádios FM, Celular, etc.), vista da Av. Hermes da Fonseca, proximidades da AABB.....	44
Figura 20 - Localização dos Transmissores das Emissoras FM em Natal. 1-Clube FM e Paraíso FM, 2-Cidade do Sol FM, 3-FM-U e FM Senado, 4-Nordeste FM, 5- FM Trampolim, Marinha FM e FM Tropical e 6-Fundação Educativa S. Gonçalo	45
Figura 21 - Localização dos 160 pontos onde foram feitas as medições de Intensidade de Campo Elétrico na cidade do Natal RN.....	48

Figura 22 - (A) Instrumentos de medição utilizado. (B) Medição de campo na Praia de Ponta Negra. (C) Alunos bolsistas se preparando para medições em Praça no Bairro de Candelária. (D) Notebook, Analisador de Espectro e Detector de RF montado no tripé.	51
Figura 23 - Ilustração simplificada das radiações eletromagnéticas originadas em Transmissores de TV que atingem um ponto na área urbana da cidade de Natal....	54
Figura 24 - Ilustração do Campo Elétrico gerado por diversos transmissores e que atinge um ou mais pontos específicos.	56
Figura 25 - Áreas distintas definidas para modelamento estatístico da Intensidade do Campo Elétrico.....	57
Figura 26 - Uma das áreas de maior concentração de emissão de radiação não ionizante em Natal, Torres sobre as dunas do Morro do Tirol, proximidades do cruzamento da Av. Hermes da Fonseca com Rua Ceará Mirim.....	76
Figura 27 - Distribuição geográfica da Intensidade do Campo Elétrico gerado por Transmissores de sinais de TV conforme medições realizadas na área urbana de Natal.....	77
Figura 28 – Análise Residual Área 1 (Exemplo).....	97
Figura 29 - Análise Residual Área 2 (Exemplo).....	98
Figura 30 - Análise Residual Área 3 (Exemplo).....	99
Figura 31 - Análise Residual Área 3 (Exemplo).....	100
Figura 32 - Gráfico oficial da ANATEL/ICNIRP com limites de exposição ocupacional à radiação não ionizante (Campo Elétrico) no Brasil (para pessoas que atuam próximos a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos em razão de seu trabalho).....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Densidade de acessos celulares por 100 habitantes por estado da Federação, dados de dezembro de 2014.....	36
Tabela 2 - Quantidade de Estações Rádio Base da Telefonia Móvel Celular por tecnologia e total em Natal RN, base agosto de 2015	38
Tabela 3 - Resumo de dados técnicos sobre Transmissores de Rádios FMs em Natal, situação em agosto de 2015	46
Tabela 4 - Limites de exposição à radiação não ionizante no Brasil (população em geral)	46
Tabela 5 - Limites de exposição ocupacional à radiação não ionizante no Brasil (Trabalhadores aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos em razão de seu trabalho)	47
Tabela 6 - Frequências e Serviços Medidos	49
Tabela 7 - Configurações adotadas no analisador de espectro Rhode Schwartz FSH56 dos pacotes de medição	49
Tabela 8 - Configuração dos Pacotes (Analisador de Espectro FSH6)	52
Tabela 9 - Expoente de perda de Propagação n para diferentes ambientes	54
Tabela 10 - Delimitação das quatro áreas para aplicação dos modelamentos estatísticos	58
Tabela 11 - Resumo das Medidas de Intensidade de Campo Elétrico	74
Tabela 12 - Comparação das Medidas do Campo Elétrico com limites de Exposição	74
Tabela 13 - Resultados da Razão de Exposição (ER) por serviço em NATAL RN...75	75
Tabela 14 - Resumo dos Resultados obtidos para os coeficientes com Método de Regressão através Análise Multivariada de Dados (Melhores resultados)	79
Tabela 15 - Resumo da Análise de alternativas para Área 1 (Exemplo).....	97
Tabela 16 - Resumo da Análise de alternativas para Área 2 (Exemplo).....	98
Tabela 17 - Resumo da Análise de alternativas para Área 3 (Exemplo).....	99
Tabela 18 - Resumo da Análise de alternativas para Área 4 (Exemplo).....	100
Tabela 19 - Resumo de Pesquisas sobre efeitos da exposição à RNI	101
Tabela 20 - Padrões Internacionais de exposição (densidade de potência) para radiação em RF (frequências de 800 a 900MHz).....	104
Tabela 21 - Limites de Exposição à radiação não ionizante no Canadá (para trabalhadores atuantes na área) SafetyCode 6.....	104
Tabela 22 - Limites de Exposição à radiação não ionizante no Canadá (para público em geral) SafetyCode 6 (.....	105
Tabela 23 - Limites de corrente de contato média induzida em diferentes tempos de exposição a campos na banda de 0,1 a 100 MHz para trabalhadores que atuam com micro-ondas e RF.....	105

Sumário

RESUMO.....	viii
ABSTRACT	x
RESUMEN.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiv
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xvi
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xix
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 JUSTIFICATIVA.....	29
3 OBJETIVOS.....	31
3.1 Objetivo Geral	31
3.2 Objetivos Específicos	31
4 MÉTODO.....	32
4.1 Caracterização da Região Objeto da Pesquisa	32
4.2 Metodologia para Medições.....	47
4.3 Metodologia para modelamento estatístico do campo elétrico gerado por emissoras de TV em Natal	53
5 ARTIGOS PRODUZIDOS	60
6 COMENTÁRIOS, CRÍTICAS E CONCLUSÕES.....	74
6.1 RESULTADOS / CONCLUSÕES	74
6.2 COMENTÁRIOS, CRÍTICAS E SUGESTÕES	79
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE	88
APÊNDICE 1 - Resumo das Medições efetuadas	89
APÊNDICE 2 - Resumo de Testes Estatísticos (Exemplos)	97
APÊNDICE 3 - Resumo de Pesquisas sobre Exposição à RNI	101
ANEXOS.....	103
ANEXO 1- Limites de Exposição à RNI	104

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos elétricos e magnéticos foram estudados durante muitos anos como sendo independentes em suas origens e efeitos. O desenvolvimento de fontes mais ou menos estáveis de energia elétrica, como as primeiras pilhas e baterias em fins do Século XVIII e início do Século XIX, permitiu ampliar as experiências que envolviam o movimento de cargas elétricas. Em 1819 Oersted descobriu que um fluxo ordenado de cargas em um condutor, formando uma corrente elétrica estável era capaz de produzir um campo magnético(1).

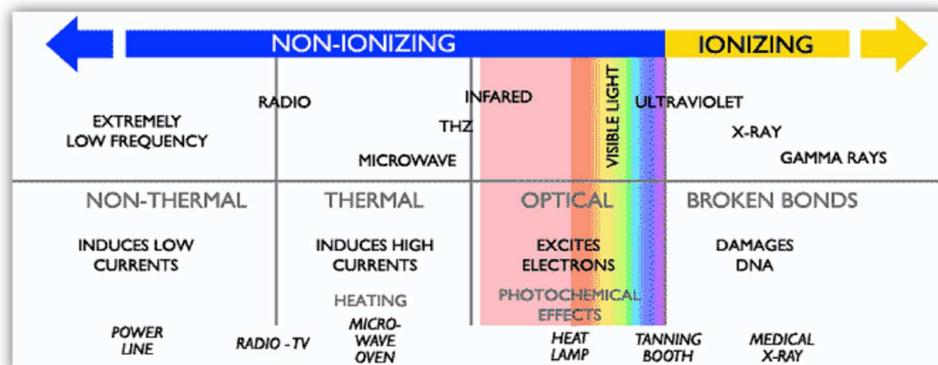
As equações de Maxwell, formuladas em 1865 formam a base teórica principal para o entendimento do Eletromagnetismo. A variação do campo elétrico gera um campo magnético e a variação do campo magnético gera um campo elétrico, daí a propagação da onda eletromagnética. De 1865 até os dias atuais, a evolução tecnológica na área de comunicações sem fio tem ampliado de forma fantástica.

O tamanho das antenas projetadas para transmissão e recepção de sinais eletromagnéticos é tipicamente uma fração do comprimento de onda da radiação. Com a expansão de serviços de telecomunicações utilizando frequências cada vez mais elevadas, os tamanhos das antenas têm sido continuamente reduzidos. No caso de serviços utilizando frequências acima de 2,5 GHz, as antenas chegam a ter dimensões inferiores a 3 cm. Atrelado ao aspecto de evolução tecnológica da microeletrônica observa-se uma miniaturização dos dispositivos e crescimento de aplicações em comunicações sem fio. Se as telecomunicações são responsáveis pelas facilidades dos tempos modernos que dinamizam o nosso dia a dia, por outro lado passaram a gerar incertezas para a população em decorrência da poluição eletromagnética que alcança todos os ambientes.

Pela definição oficial do ICNIRP (*International Commission of Non Ionizing Radiation Protection*), radiações eletromagnéticas não ionizantes correspondem àquelas que ocupam frequências inferiores a 300 GHz (Ver Figura 1) e que não têm energia suficiente para ionizar a matéria. Caracterizam-se por apresentarem energia, por fóton inferior a cerca de 12 eV (doze elétron-volt) (2). Essa faixa do espectro abrange praticamente todos os serviços de radiocomunicação de utilização pública e privada como: TV, Serviço Móvel Celular, Radiodifusão (Rádios

AM/FM/ Digital), Transmissão via Satélite e Serviços Multimídia, *Wi-Fi (Wireless Fidelity)*, entre outros.

Figura 1 - Espectro das radiações Ionizantes e Não Ionizantes



Fonte: ICNIRP - International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection(2)

Para que ocorra a ionização em um material biológico, a energia da radiação deve ser superior ao valor da energia de ligação dos elétrons ligados aos átomos desses elementos. As consequências dependerão do papel desempenhado pela molécula atingida. Se for uma molécula de DNA, podem acontecer a sua quebra e mutações gênicas. Quanto maiores as doses de radiação absorvida, maiores serão as probabilidades de dano, de mutações precursoras de câncer e de morte celular (3). A Radiação Não Ionizante tem energia suficiente para mover átomos em uma molécula ou provocar a vibração dos mesmos, mas não para remover elétrons(4).

As características do campo eletromagnético apresentam distinções em pontos muito próximos e pontos mais distantes da antena transmissora. A chamada região de campo próximo corresponde a distâncias menores que $2D^2/\lambda$ (distância de Fraunhofer). A região de campo distante abrange distâncias maiores que $2D^2/\lambda$, D é o diâmetro maior da antena e λ o comprimento de onda.

O presente trabalho, se concentra na região de campo distante. As principais características de acoplamento do campo distante no corpo humano estão resumidas a seguir(5):

- i. Acoplamento de energia de RF (Rádio Frequência) nos modelos humanos (tecidos) variam de 20% a 60% nas frequências de comunicação sem fio.
- ii. O acoplamento pode ocorrer em grandes profundidades em corpos com superfícies curvas a partir da refração dos campos de RF.

- iii. O acoplamento de energia de RF depende da polarização do campo elétrico para corpos alongados cuja relação peso/largura é alta.
- iv. O SAR médio na cabeça do corpo é similar para ambos os modelos (homogêneo e não homogêneo).
- v. A energia absorvida no corpo pode ser reforçada devido a características geométricas ressonantes da cabeça para a faixa de frequência de 400-1.500 MHz. A máxima SAR ou “hot spots” podem ocorrer dentro da cabeça.

Não só as novas tecnologias que geram campos eletromagnéticos têm evoluído rapidamente, mas os padrões de uso dos dispositivos também têm mudado. As implementações dos novos serviços potencialmente dão origem a novos ambientes de exposição eletromagnética, por exemplo: diferentes frequências e níveis de potência, diferentes tempos de exposição e diferentes áreas de exposição no corpo humano(6).

Os protótipos, que estão sendo desenvolvidos pela indústria já começam a reinventar o interior dos automóveis. Ao entrar em um carro com essa tecnologia, uma câmera pode fazer o reconhecimento do rosto do motorista, oferecer informações sobre seu cotidiano, recomendar músicas e receber orientações para acionar o mapa com GPS. Se o sistema não reconhecer a pessoa, ele pode tirar uma foto e mandar as informações para o celular do dono ou até para a polícia, evitando furtos e crimes mais graves(7).

Tecidos humanos contêm materiais isolantes (lipídios) e cargas elétricas (íons, moléculas eletricamente polarizadas, etc.). Dessa forma, eles podem ser vistos como um meio condutor fraco (dielétrico). As propriedades dielétricas do meio são diretamente relacionadas com a quantidade de energia de RF que é absorvida e convertida em calor, devido ao aumento da energia cinética translacional e rotacional das moléculas. O conhecimento mais detalhado das propriedades dielétricas dos tecidos biológicos tornou-se essencial para a dosimetria de RF, de tal maneira a permitir uma avaliação mais apurada da exposição aos campos de RF EM emitidos pelos dispositivos celulares e outros equipamentos de telecomunicações.

O banco de dados mais completo, mais conhecido e mais compreensivo que existe sobre as propriedades dielétricas dos tecidos do corpo é baseado no trabalho de Gabriel et al. (8). Gabriel trabalhou especialmente na faixa de frequência de 10Hz a 20 GHz(5).

Apesar das inúmeras pesquisas realizadas, as propriedades elétricas dos tecidos humanos ainda não são conhecidas com o grau de precisão e confiabilidade desejados. Quase todo o trabalho citado de Gabriel et al.(8)é baseado tanto em tecido de animal extraído cirurgicamente após 2 horas da morte como também (em menor escala) em material obtido de autópsias humanas, mais de 24 horas após a morte. Pouquíssimas publicações se referem a medições em tecidos de animais vivos(9).

O deslocamento de cargas é o primeiro efeito biológico da exposição ao Campo Elétrico, o que provoca a polarização e a condutividade iônica. Os estudos mostram que a condutividade dos órgãos e tecidos cresce com o aumento da frequência da radiação, mesmo com uma intensidade RMS (*Root Mean Square*) constante na fonte emissora. A permissividade segue na sequência inversa, com tendência de queda na medida que aumenta a frequência da radiação incidente.

Métodos numéricos e analíticos têm sido desenvolvidos para entender como ocorre o acoplamento dos campos eletromagnéticos em corpos biológicos. Os principais métodos numéricos usados para avaliar a potência absorvida pelos corpos são: método dos momentos (MoM), domínio finito diferencial no tempo (FDTD), Técnica de Integração finita (FIT) e o método de relações finitas (FEM)(10). Fórmulas empíricas têm sido deduzidas computacionalmente para modelar asdiversas situações.

Um parâmetro dosimétrico utilizado na avaliação da absorção de energia eletromagnética é a “Taxa de Absorção Específica” (SAR), que é definida pela Equação1.A SAR é um importante parâmetro cientificamente estabelecido de aferição da energia eletromagnética absorvida nos corpos. Ela deve ser determinada quando a exposição ocorre 0,2 metros ou menos a partir da fonte geradora da radiação (campo próximo).

Embora seja teoricamente a medida que melhor permite avaliar os efeitos da radiação eletromagnética, na prática não há como medi-la em um indivíduo vivo. As técnicas atuais adotadas para estimar a SAR incluem a simulação por computador e

a medição do campo induzido em maquetes artificiais imitando o corpo humano ou parte dele como a cabeça (essa muito utilizada para simular os efeitos de uso do celular)(11).

A permissividade (ρ) e a condutividade (σ) são parâmetros utilizados na equação para cálculo da SAR em animais e seres humanos(12).

$$SAR = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial m} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\rho(\partial V)} \left(\frac{mW}{g} \right) = \frac{\sigma}{2\rho} |E_i|^2 = \frac{\omega \epsilon_0 \epsilon''}{2\rho} |E_i|^2 = \frac{1}{2\rho\sigma} |J_i|^2 \left(\frac{mW}{g} \right) \quad (1)$$

Equação 1 - Taxa de Absorção Específica da Radiação Não Ionizante em animais e seres humanos.

E_i e J_i são os valores de pico da Intensidade do Campo Elétrico e da densidade de corrente no local ρ a permissividade do tecido afetado pela radiação.

O valor da SAR corresponde à energia absorvida por unidade de massa no tecido exposto à radiação num determinado tempo, normalmente é expressa em watts/Kg. A SAR pode aferir uma média geral do corpo ou uma avaliação localizada, por exemplo para a cabeça, pescoço, tronco e membros. Normalmente as medições da SAR são feitas a partir de 1g ou 10g de tecido.

De acordo com o ICINRP, os efeitos da absorção de campos eletromagnéticos no corpo humano apresentam características diferenciadas de acordo com a faixa de frequência de emissão das ondas. O ICINRP considera quatro faixas distintas para estudo (2):

- i. Nas frequências entre 100 KHz e 20 MHz, a absorção da energia no corpo decresce rapidamente com o decréscimo da frequência e absorção significativa pode ocorrer no pescoço e nas pernas.
- ii. Nas frequências entre 20 MHz e 300 MHz uma relativa alta absorção pode ocorrer em todo o corpo, podendo alcançar valores ainda maiores se considerada a ressonância na cabeça.
- iii. Na faixa de 300 MHz a 10 GHz a absorção energética ocorre de forma não uniforme no corpo.
- iv. Para frequências acima de 10GHz, a absorção acontece principalmente na superfície do corpo.

Além dos estudos epidemiológicos e das medições de campo, as características básicas de absorção da energia de RF pelo corpo humano também têm sido estudadas a partir de modelos que simulam o corpo humano. Durney et al (13) no Manual de Dosimetria, mostraram que a energia absorvida por um modelo elipsoidal é diretamente dependente do posicionamento relativo do corpo em relação à polarização dos campos incidentes.

A máxima absorção ocorre quando o eixo maior do corpo está paralelo ao campo. Existe uma curva de ressonância distinta para cada tamanho de corpo. Para um adulto o pico de absorção ocorre entre 70 e 80 MHz. Quando animais menores foram expostos, as características de absorção se alteraram, um rato de 20 cm de comprimento apresentou pico em 650 MHz, enquanto num camundongo de 7,5 cm, a ressonância ocorreu em 1.500 MHz. Um camundongo exposto a uma radiação de 2.450 MHz ($10\text{mw}/\text{cm}^2$) apresenta absorção média de energia em torno de 14 W/kg, a mesma radiação incidindo em um humano adulto resulta em apenas 0,28 W/Kg(14).

A forma utilizada para obter a distribuição de dosimetria da SAR devido ao uso do celular é através de imagens da ressonância magnética ou tomografia computadorizada a partir do uso de modelos artificiais (bonecos) de corpos humanos com anatomia e características dielétricas assemelhadas. As bases da absorção têm sido obtidas usando modelos canônicos do corpo divididos em camadas e com várias formas. Diversos modelos foram criados em diferentes trabalhos para partes diferentes do corpo. Exposição da RNI em crianças têm tido atenção especial.

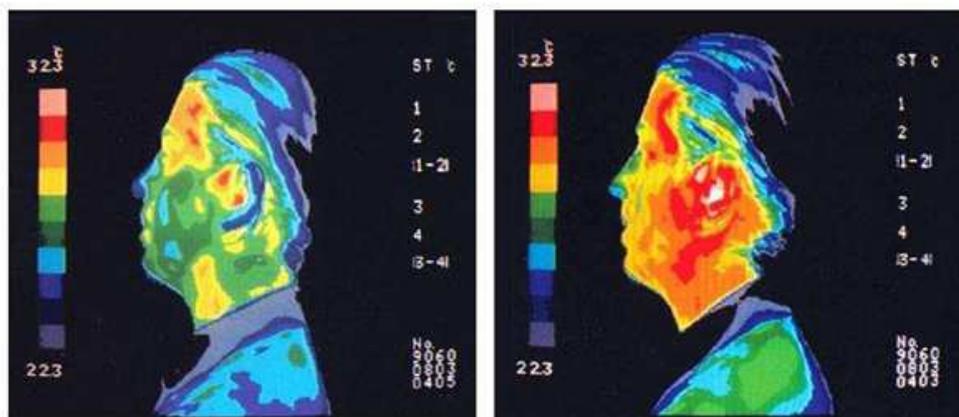
Em frequências típicas de sistemas de comunicações os principais efeitos da absorção da radiação não ionizante podem ser divididos em: “térmicos” e “não térmicos”. Os efeitos térmicos são aqueles causados por um aquecimento direto dos tecidos biológicos como resultado da absorção da energia eletromagnética num meio dissipativo, por exemplo, nos meios dielétricos onde a permissividade (ou constante dielétrica) apresenta uma parte imaginária maior que zero(15).

A preocupação em relação aos “efeitos não térmicos” da absorção da energia eletromagnética nos seres humanos decorre essencialmente pelas incertezas científicas em relação a esse aspecto. Os efeitos térmicos já são há muitos anos bem

conhecidos e são os considerados nas normas mais difundidas que limitam a exposição aos campos eletromagnéticos não ionizantes(16).

Na Figura 2, a imagem à esquerda expõe efeitos térmicos antes de usar o telefone celular e à direita durante conversação no celular com duração de 15 minutos. As áreas vermelhas e amarelas salientam maior afetação.

Figura 2 - Imagem termográfica indicando efeitos térmicos na cabeça humana

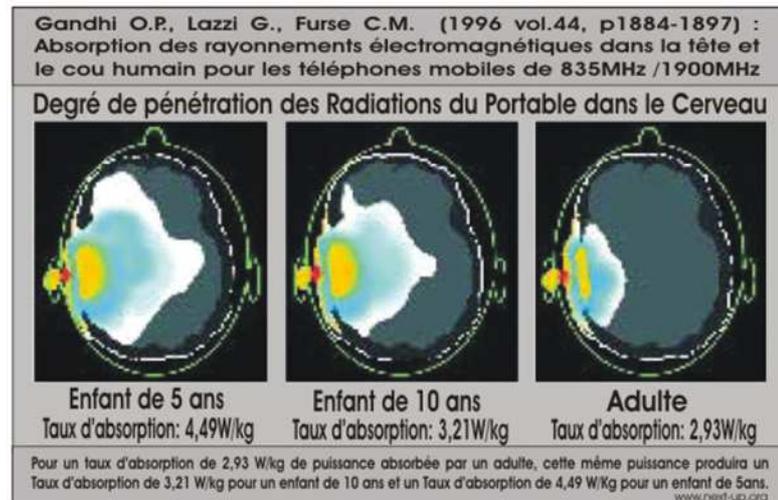


Fonte: Lin(5)

Os efeitos “não térmicos” são, por exemplo, efeitos bioquímicos ou eletro físicos causados diretamente pelos campos eletromagnéticos induzidos, e não indiretamente por um aumento localizado ou distribuído de temperatura. Alguns efeitos “não térmicos” reportados na literatura incluem efeitos nos sistemas nervoso, cardiovascular e imunológico, bem como no metabolismo e em fatores hereditários(17,18). Entretanto, nestas áreas os resultados ainda são polêmicos.

A Taxa de Absorção Específica (S.A.R.) em áreas do cérebro varia de acordo como tamanho da cabeça, dessa forma as crianças são mais afetadas que os adultos(19), como pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 - Comparação de aferições de SAR em três estágios na cabeça de corpo humano (simulação com bonecos)



Fonte: Gandhi etal (20)

Embora sem haver aceitação científica pela OMS (Organização Mundial da Saúde), as enfermidades mais citadas em estudos e que poderiam ser decorrentes da RNI são: leucemia (principalmente em crianças), câncer no cérebro e infertilidade. No Apêndice 3 está apresentado um resumo de resultados de pesquisas sobre efeitos da RNI.

2JUSTIFICATIVA

A incerteza científica sobre quais são os reais danos causados pelas radiações não ionizantes, conduziram o Brasil e muitos outros países a adotarem o Princípio do Direito denominado “Princípio da Precaução” (Declaração Rio 92)(21), a partir da qual medidas legais de prevenção aos efeitos da RNI passaram a ser implementadas.

No ano de 2010, dez países da América Latina já haviam implementado legislações estabelecendo limites para exposição às radiações não ionizantes: Argentina, Bolívia, Brasil, Colômbia, Chile, Equador, Panamá, Paraguai, Peru e Venezuela. A maioria desses países adotou a padronização recomendada pelo ICNIRP(22). Só recentemente, Costa Rica, República Dominicana e Uruguai implementaram o procedimento.

Segundo a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), desde novembro de 2010, o Brasil ultrapassou a marca de um celular por habitante. Em 2013, o Brasil era o 5º país do mundo com maior quantidade de celulares em operação e o 55º em relação à densidade de celulares por 100 habitantes (23).

No Brasil, em agosto de 2015, são 280,02 milhões de acessos celulares em funcionamento, (não incluindo iPads e equivalentes) correspondendo a 137 acessos em operação para cada 100 habitantes(24). No estado do Rio Grande do Norte, segundo a ANATEL, são 4.600.724 acessos operando no mesmo período, correspondendo a 133,54 acessos para cada 100 habitantes. O RN evoluiu a quantidade de celulares em operação de 340 mil no ano 2002 para 4,6 milhões em 2014, é o segundo estado do Nordeste em densidade de acessos celulares, só perdendo para o estado de Pernambuco, dados da ANATEL.

A cidade do Natal em agosto de 2015 apresentava um total de 882 Estações Rádio Base Celulares, 18 Estações de TV aberta ,17 emissoras Rádio FM, 6 emissoras OM (modulação AM). Essas estações se caracterizam por lançar a radiação na direção do público usuário do respectivo serviço.

Mesmo com a legislação brasileira já estabelecendo limites de exposição à RNI, a população e os órgãos de controle como o TCU têm se mostrado apreensivos

e questionam a forma como o monitoramento ambiental referente à poluição eletromagnética estaria sendo executado.

Na cidade do Natal, os procedimentos de medições de RNI têm ocorrido de forma pontual, em geral por acionamento da justiça, sempre que algum morador questiona a construção de uma nova torre celular em área vizinha à sua residência.

Além da falta de uma avaliação mais ampla do ponto de vista geográfico, percebe-se a necessidade de aferição mais generalizada das radiações emitidas e não somente as decorrentes dos sistemas celulares.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Elaborar diagnóstico sobre a situação atual da emissão de radiação eletromagnética não ionizante na área urbana cidade do Natal RN.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a variação da Intensidade do Campo Elétrico emitida pelas Estações fixas de Radiocomunicação (Torres) nas faixas de 88 MHz a 2.400 MHz em ambientes externos na área urbana em Natal.
- Avaliar, com base no parâmetro “Razão de Exposição” (ER) (*ExposureRatio*) se a Intensidade da Radiação está dentro dos limites estabelecidos pela Legislação brasileira e recomendações internacionais do ICNIRP.
- Identificar quais os serviços de telecomunicações que mais contribuem para a poluição eletromagnética na cidade do Natal.
- Com base na Técnica de Regressão Estatística Multivariada, fazer modelamento que possibilite a estimativa da Intensidade do Campo Elétrico em qualquer ponto de Natal decorrente do serviço de telecomunicações identificado como de maior contribuição para a poluição eletromagnética.

4 MÉTODO

A metodologia de trabalho compreendeu: 1-Definição da área geográfica de estudo •2-Definição da Referência para avaliação da Exposição à RNI. •3-Characterização das formas de emissão de RNI e Identificação das principais fontes de radiação. •4-Definição dos pontos de medição •5-Metodologia para medições. •6-Modelamento da Intensidade do Campo Elétrico gerado pelas TVs.

4.1 Caracterização da Região Objeto da Pesquisa

A área definida para estudo e avaliação da emissão de radiação não ionizante abrange predominantemente o município de Natal e pequena parte do município vizinho de Parnamirim, conforme ilustrado na Figura 4. Os bairros de Nova Parnamirim e Emaús são conurbados com Natal. No total são 167,26 km² de área urbana onde foi feita a pesquisa.

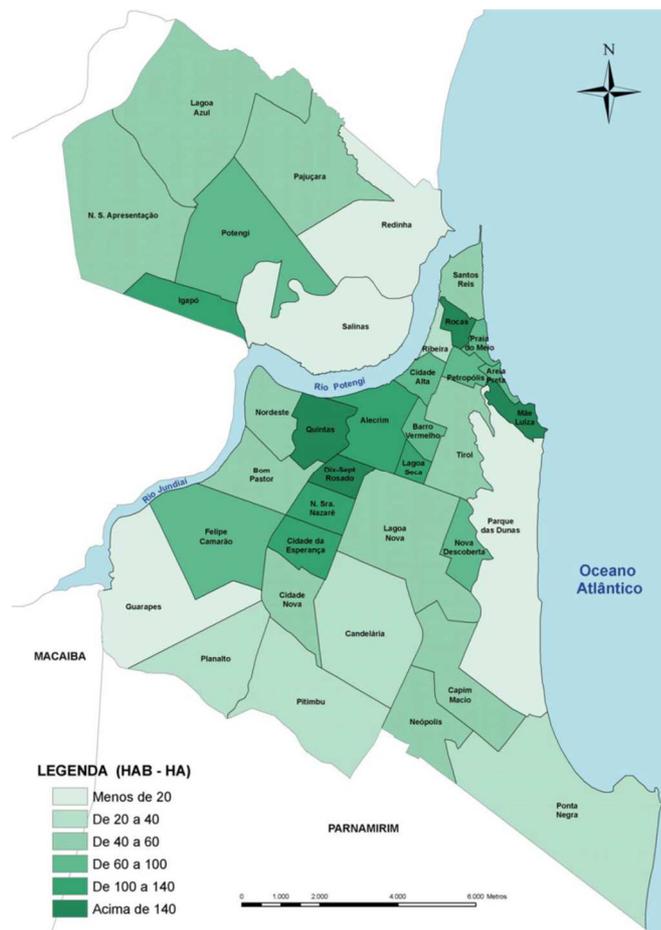
Figura 4 - Área definida para Estudo de Avaliação da emissão de radiação não ionizante, envolve todo o município de Natal e mais parte de Parnamirim (regiões denominadas Nova Parnamirim e Emaús)



Fonte: Elaborada pelo autor com recursos do Google Maps.

A cidade do Natal pertence à Mesorregião do Leste potiguar e à microrregião de Natal, possui uma população de 870 mil habitantes, se adicionada aos moradores da vizinha cidade de Parnamirim (242 mil habitantes, cidades conurbadas) já corresponde a um total que supera 1,1 milhão de pessoas (estimativas do IBGE para 2015). A distribuição da população em relação aos seus locais de residência apresenta maior concentração nos bairros de Dix-Sept Rosado, Quintas, Rocas e Igapó. Na Figura 5 está detalhada essa distribuição, conforme registro do Plano Diretor da Cidade(25).

Figura 5 - Densidade Demográfica por Área Geográfica na cidade do Natal



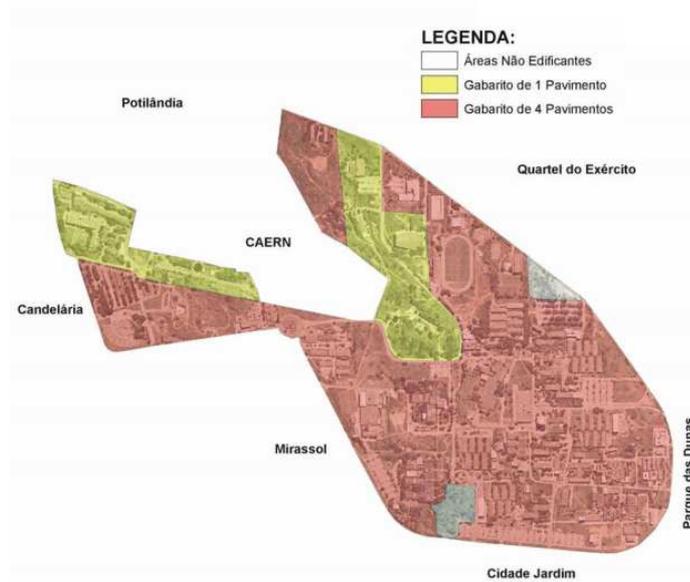
Obs.: Todos os bairros indicados no Mapa foram objeto da pesquisa
 Fonte: Plano Diretor de Natal(25)

A propagação de ondas eletromagnéticas na faixa de RF é afetada pelos obstáculos existentes, sendo importante analisar um pouco as características e variações do relevo e construções de edifícios na área definida para estudo. Natal tem

a segunda menor área territorial entre as capitais brasileiras, maior apenas que Vitória no Espírito Santo. Embora estando à beira mar, Natal tem uma altitude média equivalente a um prédio de 13 andares, isso decorre da morfologia do relevo da região, caracterizada predominantemente pelo tabuleiro litorâneo, boa parte da cidade foi construída sobre falésias.

O Plano Diretor da cidade de Natal (PDN), indica no capítulo III (“Das Prescrições Urbanísticas Adicionais”), §2º, que “O gabarito máximo de altura permitido para toda a cidade será de 65m (sessenta e cinco metros), exceto para as zonas adensáveis onde poderá ser permitido até 90m (noventa metros)”(25). Existem 6 áreas na cidade onde ocorrem restrições especiais em relação às edificações. O PDN estabelece controle de gabarito, por exemplo, na região circunvizinha ao Parque das Dunas, onde a altura máxima das edificações chega a ficar limitada a 6 metros. A Figura 6 apresenta os detalhes. As chamadas “Zonas de Adensamento Básico”, especialmente a Zona Norte também têm condicionantes que, na prática, restringem a construção de edifícios de maior porte.

Figura 6 - Área em torno do Campus Universitário da UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) onde o Plano Diretor estabelece limites mais rígidos de gabarito para edifícios



Fonte: Anexo II do Plano Diretor de Natal(25)

O crescimento da emissão de ondas eletromagnéticas não ionizantes na área urbana de Natal decorre naturalmente do processo de modernização que acontece: aumento na quantidade de canais abertos de TV e Rádios FM, barateamento e intensificação da oferta dos chamados “serviços wireless” como telefonia móvel celular, internet sem fio, TV por assinatura, etc.

Dados da ANATEL indicam que a quantidade de acessos celulares em funcionamento no RN evoluiu de 340 mil no ano 2002 para 4,6 milhões em 2014. A Figura 7 detalha essa evolução.

Figura 7 - Evolução da quantidade de acessos celulares em operação no estado do Rio Grande do Norte



Fonte: ANATEL (26)

De acordo com a ANATEL, no ano de 2014, o estado do Rio Grande do Norte apresentou a segunda maior densidade de telefones celulares por 100 habitantes da Região Nordeste, sendo o 11º estado do Brasil em relação a esse indicador, superando estados como Minas Gerais, Ceará, Santa Catarina e Bahia. A Tabela 1 detalha esses números.

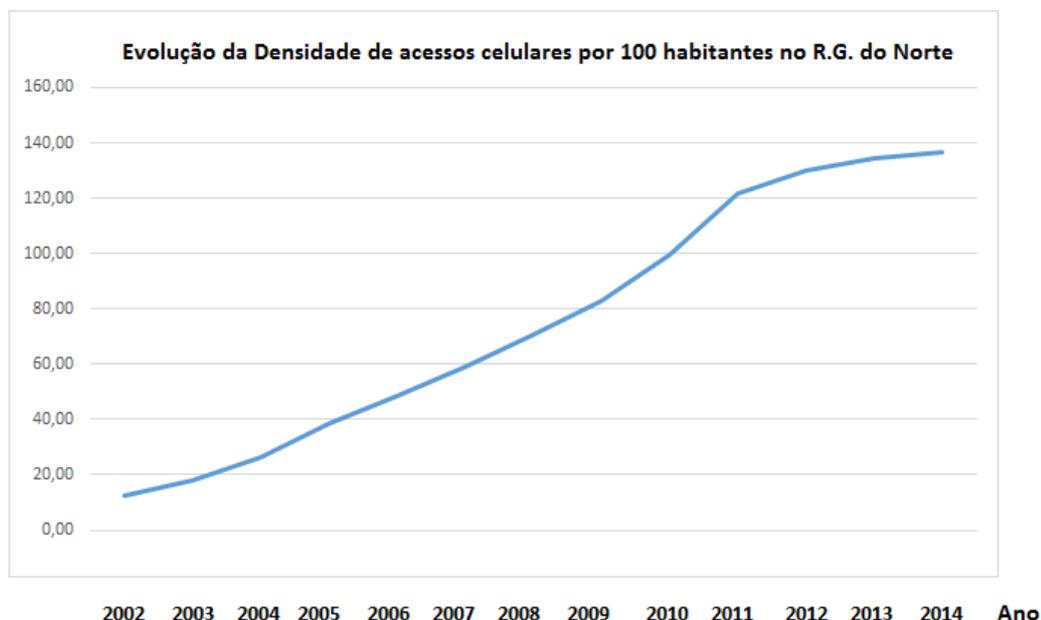
Tabela 1 - Densidade de acessos celulares por 100 habitantes por estado da Federação, dados de dezembro de 2014

Estado da Federação	Densidade Celulares/100 habitantes
1 Distrito Federal	217,82
2 São Paulo	154,06
3 Rio de Janeiro	150,07
4 Rio Grande do Sul	147,45
5 Goiás	146,03
6 Mato Grosso	145,55
7 Mato Grosso do Sul	144,95
8 Pernambuco	140,17
9 Rondônia	138,99
10 Paraná	138,07
11 Rio G. do Norte	136,90
12 Santa Catarina	134,39
13 Tocantins	134,28
14 Ceará	131,38
15 Piauí	130,64
16 Paraíba	130,59
17 Minas Gerais	128,95
18 Alagoas	125,37
19 Bahia	123,50
20 Amapá	123,17
21 Sergipe	120,13
22 Pará	115,13
23 Acre	113,96
24 Espírito Santo	112,59
25 Amazonas	106,56
26 Roraima	102,28
27 Maranhão	97,11

Fonte: ANATEL (26)

Essa alta densidade relativa de celulares do RN é predominantemente concentrada na área da Grande Natal. A Figura 8 ilustra como o crescimento tem ocorrido ao longo dos anos, sendo que a densidade em 2014 é mais de 13 vezes maior que a de 2002. Observa-se, entretanto, que a partir de 2011, já ocorre uma inflexão da curva com tendência clara de saturação (estabilização) ou de crescimento mais lento para os próximos anos.

Figura 8 - Densidade de celulares por 100 Habitantes no Rio Grande do Norte de 2002 a 2014



Fonte: ANATEL/TELECO (Dados de população do IBGE) (23)

Após a definição dos limites de área urbana da Grande Natal onde a pesquisa seria realizada e da sua caracterização, na sequência foi feita a identificação e localização das principais estações fixas emissoras de radiação eletromagnética não ionizante na cidade. Além da localização de cada torre transmissora, foram especificados os serviços prestados, as faixas de frequências, potências e tipos de emissão adotadas.

Em agosto de 2015, na etapa final da realização das medições de campo do presente trabalho, existiam na área urbana de Natal (incluindo Parnamirim) 18 estações abertas de TV (incluindo repetidoras), 17 emissoras Rádio FM, 6 emissoras OM (modulação AM) e 882 estações de Telefonia Móvel celular. Essas estações se caracterizam por lançar a radiação na direção do público usuário do respectivo serviço. As emissoras com geração de programação local na cidade em agosto de 2015 eram: Band Natal (canal 3), TV Universitária (canal 5), TV Tropical (canal 8), Inter TV Cabugi (canal 11), TV Ponta Negra (canal 13), Sim TV (canal 17), Record News (canal 19), RIT (canal 22), TV Assembleia RN (canal 50), TV Canção Nova (canal 46), TV Câmara de Natal (canal 51) e TV Senado (canal 52).

Quatro emissoras de TV local (InterTV, Bandeirantes, Canção Nova e TV Câmara) operavam simultaneamente com transmissão em canais analógicos e digitais até a conclusão das medições do presente Trabalho. A TV digital em Natal, como no restante do país, opera na faixa de UHF (Ultra Alta Frequência), enquanto a TV analógica é transmitida em VHF.

A Tabela 2 detalha a distribuição das Estações Rádio Base Celular por Operadora e por tecnologia. Deve-se esclarecer que a quantidade de torres é menor que a quantidade de ERBs (Estações Rádio Base), pois existem muitos casos de compartilhamento de infraestrutura entre diferentes tecnologias da mesma operadora e até entre operadoras diferentes. A SEMURB (Secretaria Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente) incentiva esse compartilhamento visando minimizar a poluição visual na cidade. Em agosto de 2015 existiam 375 torres em Natal.

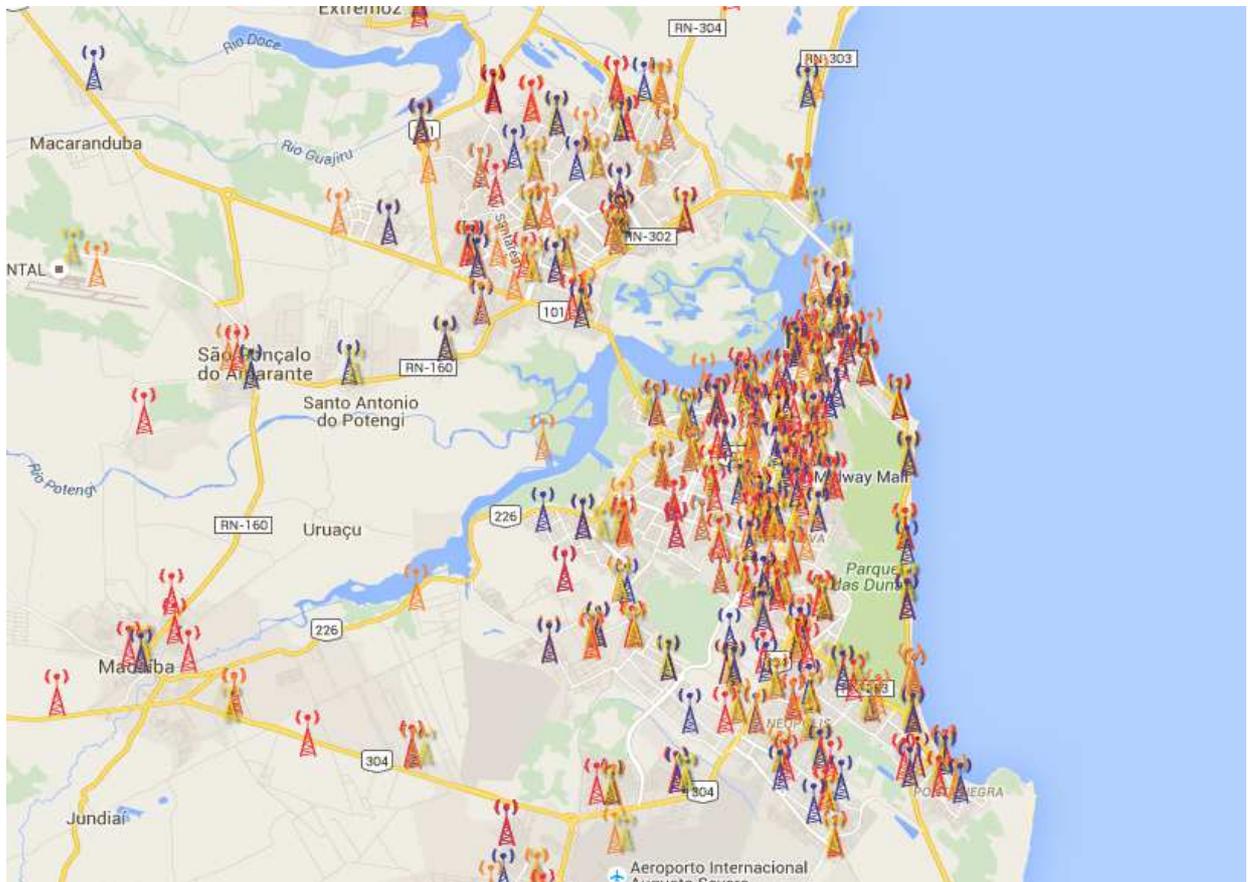
Tabela 2 - Quantidade de Estações Rádio Base da Telefonia Móvel Celular por tecnologia e total em Natal RN, base agosto de 2015

OPERADORA	QUANTIDADE DE ERBS POR TECNOLOGIA			TOTAL
	2 G	3G	4G	
CLARO	62	64	63	189
NEXTEL	5	18	0	23
OI	95	97	66	258
TIM	69	72	67	208
VIVO	80	80	44	204
TOTAL	311	331	240	882

Fonte: ANATEL(26)

Os sistemas celulares no RN operam basicamente comandados por um núcleo central inteligente (cada operadora) que comanda uma rede de Estações Rádio Base (torres) espalhadas por Natal e demais cidades do RN. Cada estação Rádio Base (ERB) se conecta com a central de comutação e controle (CCC) de sua operadora respectiva através de enlace de rádio frequência ponto a ponto ou via fibras ópticas. As conexões ponto a ponto via rádio enlaces têm uma característica de radiação bastante restrita, onde o campo elétrico normalmente não está direcionado para a população e sim para uma outra estação fixa (outra torre). As conexões via fibras ópticas também não apresentam emissão de radiação ao ambiente externo. A Figura 9 mostra, de forma simplificada, a distribuição geográfica das ERBs dos Sistemas Celulares na região de Natal.

Figura 9 - Localização das ERBs de Telefonia Móvel Celular em Natal (cada cor uma Operadora)



Fonte: ANATEL/TELECO/TELEBRASIL (23) adaptado do GoogleMaps

As ERBs celulares se distribuem por toda área de Natal, mas ocorre maior concentração na região envolvendo os bairros de Petrópolis, Tirol, Barro Vermelho, Alecrim, Lagoa Nova, Lagoa Seca, Cidade Alta e Neópolis. Na medida em que se afasta de Natal na direção de Ceará Mirim ou Macaíba, observa-se uma natural redução na quantidade de torres.

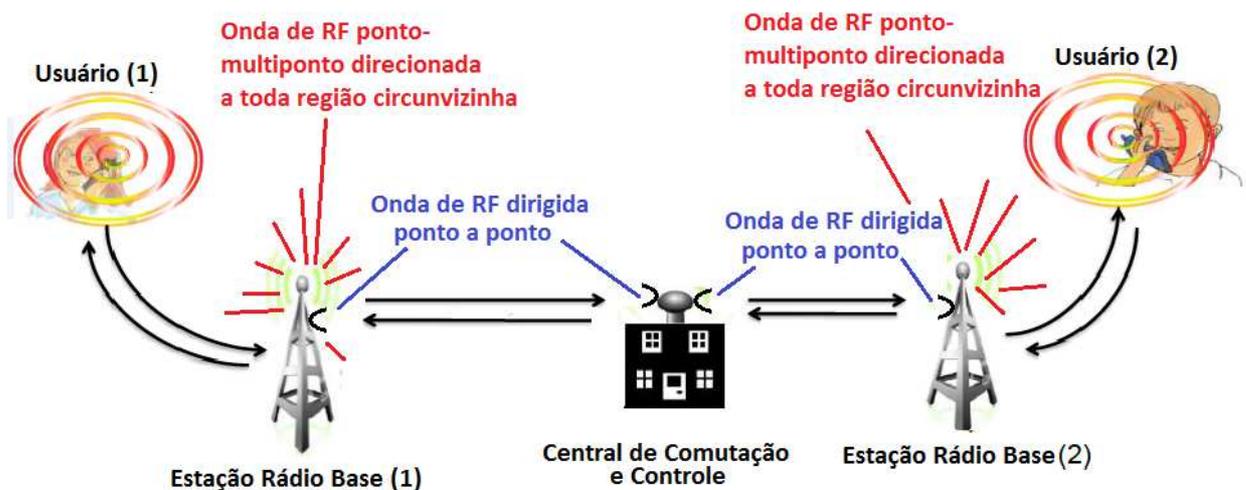
As transmissões via links de rádio (ponto a ponto) existem para diversas aplicações em Natal: interligação entre Central Celular e ERBs de cada operadora, interligação entre as diferentes operadoras da telefonia fixa e móvel, interligação interurbana de Natal com outras localidades na telefonia fixa, conexão de estúdios de TV com transmissores, Telecomandos e tele alarmes, como os utilizados pela concessionária local de energia elétrica e transmissão de dados, voz e imagens de uma maneira geral. Afora esses sistemas, existem também as comunicações com

satélites, utilizadas principalmente pelas emissoras de TV. A intensidade das radiações recebidas de satélites é muita baixa, em função das grandes distâncias envolvidas.

A radiação eletromagnética é transmitida a partir de antenas, que, em função de suas características construtivas e posicionamento, estabelecem o grau de diretividade / espalhamento e ganho em cada ângulo. Uma parcela considerável das torres celulares de Natal é instalada em coberturas de edifícios.

Devido à existência de pontos quase nulos (baixa emissão) no diagrama vertical das antenas das ERBs celulares, ocorrem casos de pequenas áreas dentro da zona de cobertura da antena em que o campo elétrico terá intensidade mínima, isso acontece, inclusive, no interior de edifícios que têm torres celulares nos seus topos. A Figura 10 ilustra as radiações envolvidas numa comunicação entre celulares.

Figura 10 - Caracterização de uma comunicação típica entre dois assinantes de operadora celular



Fonte: Elaborado pelo autor

As Figuras 11, 12, 13 e 14 correspondem a fotografias de Estações celulares localizados em topos de edifícios em Natal. A Figura 15 mostra torres autoportantes na cidade, área da Via Costeira.

Figura 11 - Torre de Estação Rádio Base celular localizada no topo de edifício no Bairro do Barro Vermelho



Fonte: Acervo próprio

Figura 12 - Torre de ERB celular localizada no topo de edifício no cruzamento da Av. Prudente de Moraes com Rua Jundiá, Bairro Tirol, Natal, RN



Fonte: Acervo próprio

Figura 13- Torres em topos de edifícios próximas à torre de concreto da Embratel/Claro entre a Rua Jundiá e Av. Prudente de Moraes, bairro Tirol



Fonte: Acervo próprio

Figura 14 - Detalhe da torre principal da Embratel /Claro na Rua Jundiá, com predominância de antenas parabólicas



Fonte: Acervo próprio

Figura 15 - Torres metálicas autoportantes de Estações celulares na via Costeira, Natal, setembro de 2015.

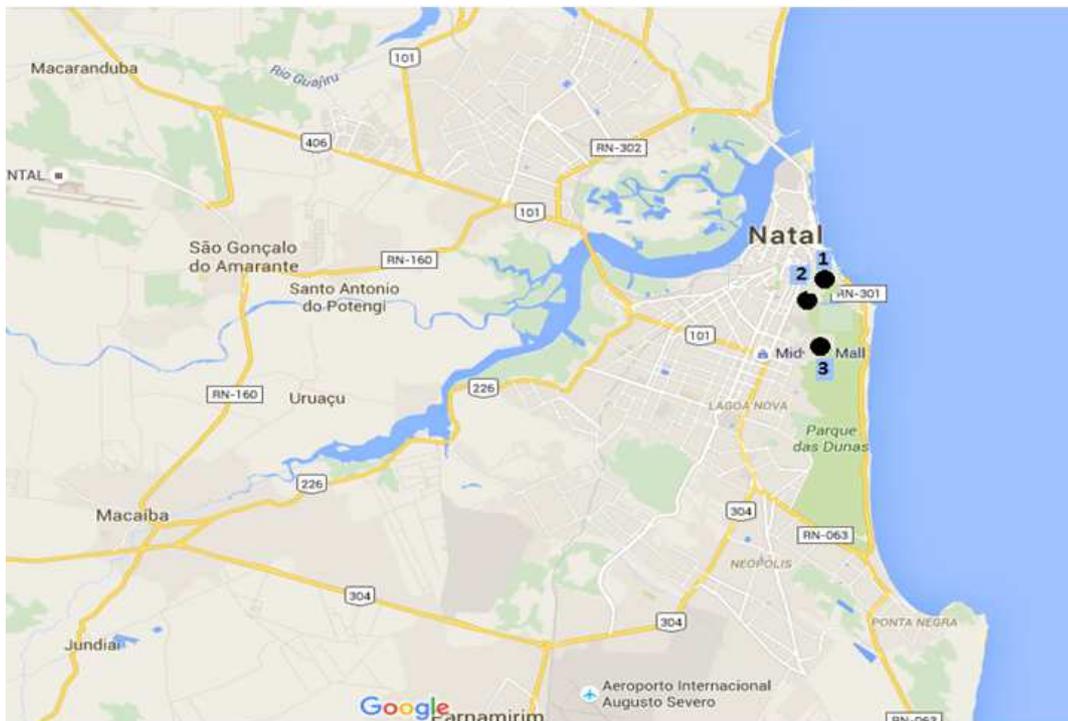


Fonte: Viver Natal(27)

Os transmissores das emissoras de TV abertas em Natal se concentram em quatro áreas elevadas localizadas no lado leste da cidade na região do Parque das Dunas. A Figura 16 detalha a distribuição geográfica:

- I. Morro do Tirol (Parque das Dunas), com acesso pela Rua Cel. Costa Pinheiro, Tirol;
- II. Dunas do Tirol (Parque das Dunas), bem próximo ao Bosque dos Namorados, acesso pela Rua da Torre ou Rua Dr. Nilo Bezerra Ramalho, Tirol;
- III. Morro de Mãe Luíza, acesso pela Rua João XXIII, Rua São Pedro, Bairro Mãe Luíza.

Figura 16 -Localização dos Transmissores de TV em Natal: 1- Morro de Mãe Luíza. 2- Morro do Tirol (atrás da AABB), 3- Morro vizinho ao Bosque dos Namorados



Fonte: Adaptado do Google Maps

Os transmissores de TV em Natal operam com potência máxima efetivamente radiada (ERP máx.) variando entre 14,87 KW e 102,63 KW (dados da ANATEL), com utilização de antenas com polarização horizontal. As Figuras 17, 18 e 19 mostram as principais torres de transmissão de TV aberta em Natal.

Figura 17 - Torres de TV (Fund. Evangélica Boas Novas, etc.), Rádio FM e Celular no Morro de Mãe Luíza, Rua S. Pedro, Fonte: Google Maps.

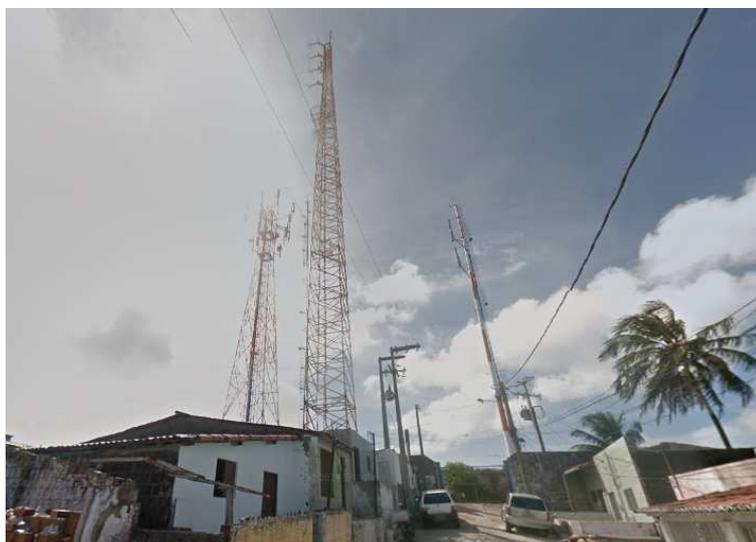


Figura 18 - Torre da TV-U no Parque das Dunas, Rua da Torre, Bairro Tirol.



Fonte: Google Maps

Figura 19 - Área de forte concentração de torres no Morro do Tirol (TVs, Rádios FM, Celular, etc.), vista da Av. Hermes da Fonseca, proximidades da AABB.



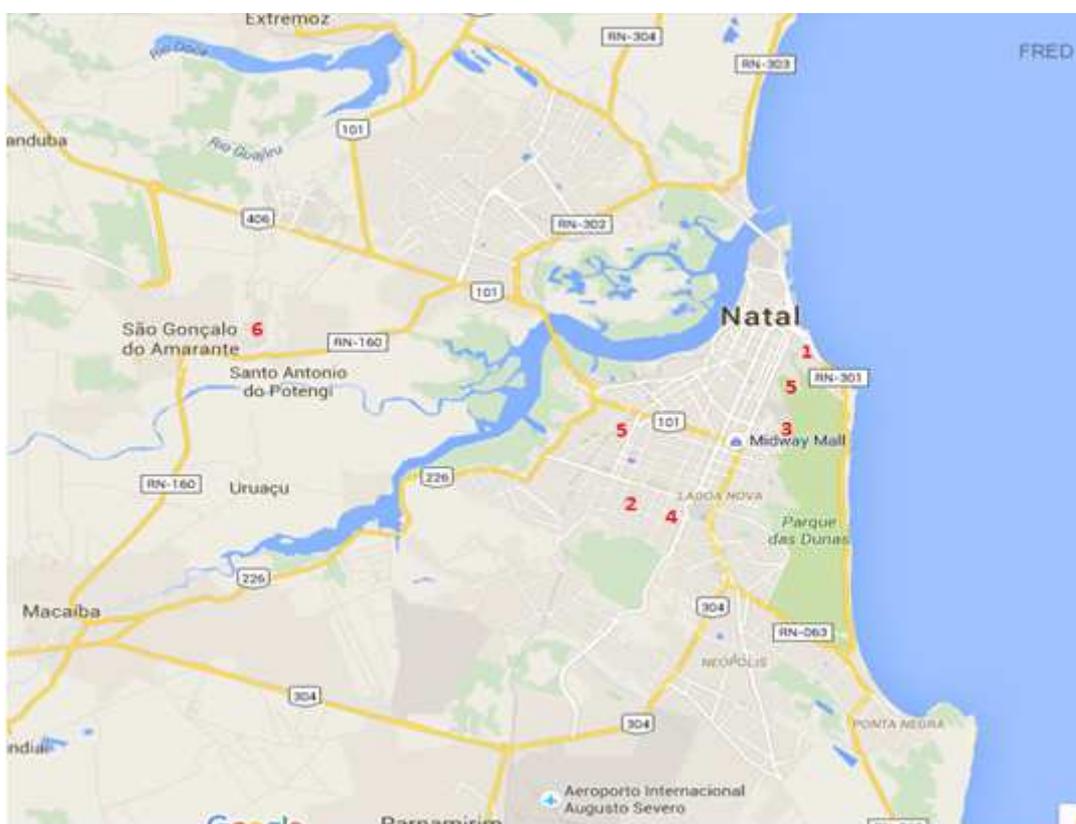
Fonte: Google Maps.

Os transmissores das 12 Rádios FM em Natal têm potência radiada máxima variando entre 0,57 e 37,5 KW, a Tabela 3 apresenta os detalhes. A Figura 20 ilustra

a distribuição geográfica das estações. Algumas estações compartilham áreas comuns ou vizinhas.

Para referência comparativa em relação à Razão de Exposição das radiações, foram consideradas os limites definidos pela ANATEL, baseados no ICNIRP, conforme Tabelas 4 e 5.

Figura 20 - Localização dos Transmissores das Emissoras FM em Natal. 1-Clube FM e Paraíso FM, 2-Cidade do Sol FM, 3-FM-U e FM Senado, 4-Nordeste FM, 5- FM Trampolim, Marinha FM e FM Tropical e 6-Fundação Educativa S. Gonçalo



Fonte: Google Maps

Tabela 3 - Resumo de dados técnicos sobre Transmissores de Rádios FMs em Natal, situação em agosto de 2015

Entidade	Frequência (MHz)	Pot.de Op. (Kw)	Endereço dos Transmissores	G Max (antena) dBd	ERP Máx (KW)
1 Clube FM	97,9	4,5	Rua S.Pedro, 10, Mãe Luíza.	3,23	8,53
2 Cidade do Sol	94,3	10	Avenida do Sol s/n, Candelária	3,21	18,82
3 Fund. Norte Riog. de Pesq. e Cultura (FM-U)	88,9	3	Rua da Torre, Morro Branco	3,21	5,57
4 FM Nordeste	98,9	20	Rua Carlos Chagas 3466, Alto da Candelária	3,22	37,5
5 Paraíso FM	102,9	10	Rua S.Pedro 40/42, Mãe Luíza	3,21	18,81
6 Tropical FM	103,9	10	Morro do Tirol	3,22	19,74
7 FM Trampolim da Vitória	104,7	8	Morro do Tirol	4,62	18,53
8 Fund. Cultural Educ. de Rádio	105,9	0,3	Rua Bela Vista 1420, Centro, C. Mirim	3,15	0,57
9 Rádio JovemPan	89,9	5,5	Rua do Largo, São G. do Amarante	0	4,7
10 Rádio Senado	106,9	10	Rua da Torre, Morro Branco	2,93	16,35
11 Rádio Natal Reis Magos	96,7	10	Travessa Cel. Estevam S/N - DixSept Rosado	5,05	27,39
12 Rádio Marinha	100,1	10	Morro do Tirol	2,91	16,31

Fonte: ANATEL(26)

O Plano Diretor da cidade do Natal(25) regulamentado no ano 2011, no aspecto referente à poluição ambiental do ar, não faz citação à poluição eletromagnética, restringindo-se, no caso, apenas às limitações de intensidade sonora, gás natural, emissão de odores /material particulado, queima de hidrocarbonetos, lenha, carvão, cascas e similares.

Tabela 4 - Limites de exposição à radiação não ionizante no Brasil (população em geral)

Faixa de frequência	Intensidade de Campo Elétrico (E) (V/m)	Intensidade de Campo Magnético (H) (A/m)	Densidade de Potência equivalente para onda plana (W/m ²)
9KHz- a 150 KHz	87	5	X
0,15 a 1 MHz	87	0.73/f	X
1 MHz a 10 MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	X
10MHz a 400MHz	28	0.073	2
400MHz a 2000MHz	1.375 f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	f/200
2GHz a 300 GHz	61	0.16	10

Fonte: ANATEL (28)

Tabela 5 - Limites de exposição ocupacional à radiação não ionizante no Brasil (Trabalhadores aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos em razão de seu trabalho)

Faixa de frequência	Intensidade de Campo Elétrico (E) (V/m)	Intensidade de Campo Magnético (H) (A/m)	Densidade de Potência equivalente para onda plana (W/m ²)
9KHz- a 150 KHz	610	24,4	X
0,15 a 1 MHz	610	1,6/ f	X
1 MHz a 10 MHz	610/f	1,6/ f	X
10MHz a 400MHz	61	0,16	10
400MHz a 2000MHz	$3 f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$f/40$
2GHz a 300 GHz	137	0,36	50

Fonte: ANATEL (28)

Onde f é a frequência, em MHz e e.r.p. é a potência efetiva radiada na direção de maior ganho da antena, em watt. O Anexo 1 apresenta tabelas e gráfico sobre limites de exposição à radiação não ionizante

4.2 Metodologia para Medições

Para definição da quantidade de pontos visando a execução das medições de Intensidade de Campo Elétrico foram considerados dois aspectos:

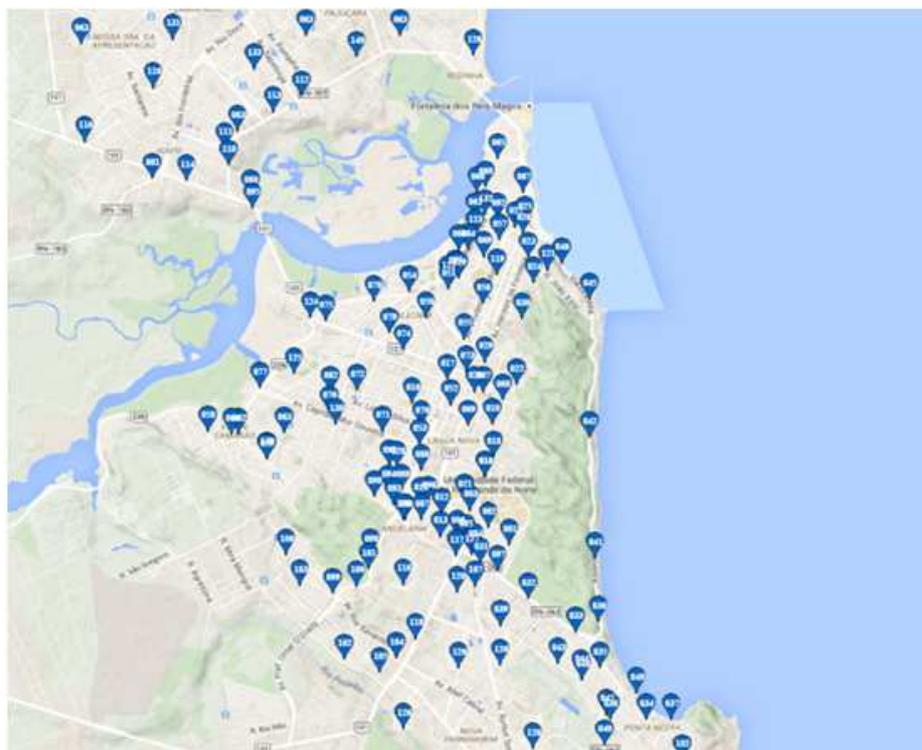
- i. A distribuição geográfica dos pontos cobrindo todos os bairros e áreas nos limites estabelecidos para pesquisa, seguindo a lógica da Estatística Espacial.
- ii. Atendimento aos requisitos de Amostra Estatística visando aplicação consequente da Técnica de Regressão Multivariada para modelamento do cálculo da Intensidade do Campo Elétrico;

O tamanho da amostra tem um impacto direto sobre a adequação e o poder estatístico da regressão múltipla. Amostras pequenas, geralmente caracterizadas por menos de 30 observações são apropriadas para análise apenas por regressão simples com uma única variável independente. [...]. Do mesmo modo, amostras muito grandes, de 1.000 observações ou mais, tornam os testes de significância estatística excessivamente sensíveis, muitas vezes indicando que quase qualquer relação é estatisticamente significativa(29).

Considerando os critérios citados, foram definidos 160 pontos para medições de Intensidade de Campo Elétrico. Na medida do possível e mantendo a diversidade

na cobertura geográfica como requisito fundamental, foram buscados pontos de maior aglomeração pública, bem como proximidades de Hospitais, Escolas, Creches e Torres de Telecomunicações. Não foram feitas medições em áreas de mangues próximas ao Rio Potengi, bem como em áreas de dunas, devido dificuldades de acesso com os Instrumentos (ver Figura 21).

Figura 21 - Localização dos 160 pontos onde foram feitas as medições de Intensidade de Campo Elétrico na cidade do Natal RN



Fonte: Elaborado pelo autor com recursos do Google Maps

Considerando o objetivo de aferir a radiação emitida pelas torres na direção da população (*downlinks*), foram estabelecidos os serviços e faixas de frequências objeto do estudo, conforme Tabela 6. Dessa forma, as medições foram efetuadas em 4 grupos distintos: Serviço Móvel Celular, Televisão, Rádios FMs e Sistemas IEEE 802.11 (Wi Fi ou WLAN - *Wireless Local Area Network*). Em cada um dos grupos a aferição foi realizada com medições que captassem todas as diferentes fontes (“pacotes”) operando simultaneamente na respectiva faixa global de frequência.

Tabela 6 - Frequências e Serviços Medidos

Faixa de Frequência (MHz)	Serviço
88-108 MHz	Rádio FM Broadcast
54-72 (VHF Canais 2-4)	
76-88 (VHF Canais 5-6)	
174-216 (VHF Canais 7-13)	TV Broadcast
470-890 (UHF Canais 14-69)	
824-960	
1805-1890	Móvel Celular (2G e 3G)
1975-2165	
ISM 2400 MHz banda (<i>non-overlapping channels 1,6 and 11</i>)	WLAN (IEE 802.11bg)

Fonte: Elaborado pelo autor

As Intensidades dos campos elétricos na área urbana de Natal foram medidas com um analisador de espectro Rhode Schwartz modelo FSH56 conectado a uma sonda isotrópica com faixa de frequência de 30 a 3.000 MHz. A sonda (ponta de prova) foi fixada a um tripé de madeira com altura de 1,65 m. Um GPS e um notebook complementaram o sistema, rodando um software proprietário com acesso às medições do analisador. A ponta de prova captou medições nos três eixos x,y e z ,em composição quadrática dos campos. O conjunto cabo- (pequeno tamanho) e antena, não utilizou conectores, detector foi setado na opção “Max Hold/RMS”.

A faixa de frequências adotada cobre a maior parte dos serviços de rádio difusão (TV e Emissoras FM), os serviços de telefonia móvel e sistemas IEEE 802.11 b/g (Wi-Fi). A ponta de prova tem diretividade próxima de um (em escala linear), significando o recebimento de sinais em todas as direções em igualdade de condições. O analisador é controlado por um software proprietário da Rhode&Schwarz o qual possibilita ao usuário configurar os “pacotes de medição” para cada serviço e então ativar a sequência completa de varredura apenas com alguns comandos. A Tabela 7 resume as especificações de ajustes dos equipamentos utilizados nas medições

Tabela 7 - Configurações adotadas no analisador de espectro Rhode Schwartz FSH56 dos pacotes de medição

Serviços / Parâmetros	TV	Rádio FM	Wi-Fi (2,4 GHz)	Celular 2G (GSM)	Celular 3G (UMTS)
Video BW	Auto	-	-	-	-
Dwell time	50 ms	50 ms	5000 ms	1000 ms	50 ms
BW for each central frequency	6 MHz	200 kHz	22 MHz	200 kHz	5 MHz

Fonte: Elaborado pelo autor

Dados comuns adotados:

- Polarização: sonda de três eixos, com medição em x, y e z e composição quadrática dos campos;
- Cabo: Conjunto antena-cabo (único, sem conectorização) e curto comprimento, fornecido pelo fabricante. Calibração combinada antena-cabo;
- *Trace Mode / Detector*: Max Hold / RMS

Obs.: o uso de detector RMS é explicitamente indicado em documentos pertinentes a respeito de limiares de exposição humana à RNI.

De forma geral, seguiu-se o padrão de pacotes de medição definidos pelo fabricante do instrumento de medida. Trata-se de instrumental (hardware e software) dedicado a este tipo de atividade, e não de uma adaptação de instrumentos genéricos ao objetivo do projeto.

Assim como para os outros parâmetros, a escolha de *dwell time* recaiu sobre os padrões estabelecidos nos pacotes de fábrica. Este valor foi aumentado apenas para o serviço celular, numa tentativa de melhor retratar a dinâmica natural de acionamento dos TRx, conforme a demanda de tráfego telefônico.

A respeito das diferenças entre serviços de maior e menor dinâmica na emissão de RNI, para os serviços celulares (mais dinâmicos quanto aos níveis de emissão) os pacotes foram executados ciclicamente ao longo de 6 minutos, totalizando um máximo de cerca de 13 loops para o serviço 2G e de cerca de 3 loops para o 3G. Ao final, o próprio equipamento disponibiliza a média das sucessivas medições. Optou-se por não realizar tal procedimento para os serviços de radiodifusão, pelo fato de não apresentarem dinâmica de emissão ao longo do dia.

Quanto ao nível de referência de ruído, a contribuição de ruído verificada é mínima, dessa forma, foram considerados todos os níveis de campo elétrico registrados pelo instrumento. Isto evita que eventuais sinais baixos, porém oriundos dos serviços que se deseja medir, sejam descartados. Em certas ocasiões, ao se usar algumas funcionalidades do equipamento designadas ao descarte de níveis abaixo de certo limiar, foi observado que serviços que se sabia existentes não foram medidos. Daí a opção por se considerar todos os níveis registrados.

Esta decisão faz com que os resultados sejam conservadores, o que sem dúvida é mais importante que eventuais ausências de níveis medidos. Ainda assim, devido aos baixos níveis de ruído registrados, não há impacto no sentido de superestimação dos níveis de exposição.

As medições em campo distante foram efetuadas em ambientes outdoor nos horários de pico da telefonia móvel de tal maneira a maximizar a probabilidade de obter sinais de maior potência (10h-12h30 e 15h-19h). Foram utilizados 160 pontos de medida cobrindo todos os bairros, incluindo principais ruas e avenidas, vizinhanças de torres transmissoras, shopping centers, escolas, creches e hospitais. Os 160 pontos escolhidos estão localizados à uma distância média de 340 m da torre mais próxima. A Figura 22 (B) ilustra um dos pontos utilizados, as figuras 22 (A e D) mostram parte dos instrumentos utilizados e a figura 22 (C) ilustra os bolsistas fazendo uma medição.

Figura 22 - (A) Instrumentos de medição utilizado. (B) Medição de campo na Praia de Ponta Negra. (C) Alunos bolsistas se preparando para medições em Praça no Bairro de Candelária. (D) Notebook, Analisador de Espectro e Detector de RF montado no tripé.



Fonte: Acervo próprio

As medições foram efetuadas por alunos bolsistas de graduação dos cursos de Engenharia de Telecomunicações e Engenharia Elétrica, com participação e supervisão do autor do presente trabalho. Os instrumentos utilizados pertencem à UFRN e foram devidamente calibrados/ aferidos.

O Analisador de Espectro tem software proprietário específico para medição de radiação não ionizante, características particulares de cada serviço requerem diferentes configurações distintas para cada “pacote”. Faixa de frequência, tipo de modulação e diferentes dinâmicas de transmissão estão entre os parâmetros ajustados no “setup” do sistema. Considerando que o interesse de análise estava

apenas na radiação eletromagnética emitida pelas estações fixas (torres), apenas os sinais “downlinks” foram medidos. Os “pacotes” foram ajustados seguindo o manual de orientação da Rhode&Schwarz, foram consideradas as especificações de serviços regulamentados pela ANATEL e pelo ICNIRP, os tempos de captura (*dwell times*) foram ajustados conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Configuração dos Pacotes (Analisador de Espectro FSH6)

Serviços / Parâmetros	TV	Radio FM	Wi-Fi(2,4 GHz)	2G (GSM)	3G(UMTS)
Video BW	Auto	-----	-----	-----	-----
Dwell time	50 ms	50 ms	5000 ms	1000 ms	50 ms
BW para cada frequência central	6 MHz	200 kHz	22 MHz	200 kHz	5 MHz

Fonte: Elaborado pelo autor

Para cada serviço, foi configurado um número específico de canais no pacote de medições, seguindo a regulação do serviço no Brasil. O equipamento, então, “scanea” e faz medições dentro de determinado “tempo de espera” para cada tipo de serviço. No caso de serviços de rádio difusão (Tv e Rádio FM), o “tempo de espera” para as medições foi ajustado para 50 milissegundos (“default” do equipamento).

Esse tempo foi definido em função da pouca oscilação da potência dos transmissores e da pouca variabilidade na propagação até um determinado ponto. No caso das Redes celulares, a natureza dinâmica dos sistemas GSM (Global System for Mobile communications) e UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems), onde a potência transmitida sofre muitas variações em função do tráfego instantâneo efetivo nas comunicações, foi adotado o tempo de 6 minutos para cada medição.

Para garantir resultados mais consistentes, cada pacote de serviços foi medido 10 a 13 vezes em cada ponto e a média foi calculada considerando todos os “loops”. No caso do pacote para o serviço IEEE 802.11/b/g, o tempo de espera foi colocado 5 segundos (default). Os serviços de radiodifusão não apresentam variação significativa de emissão ao longo do dia, diferentemente dos Sistemas celulares, como GSM/UMTS. A contribuição de ruído verificada é mínima, de forma que se optou por considerar todos os níveis de campo elétrico registrados pelo instrumento.

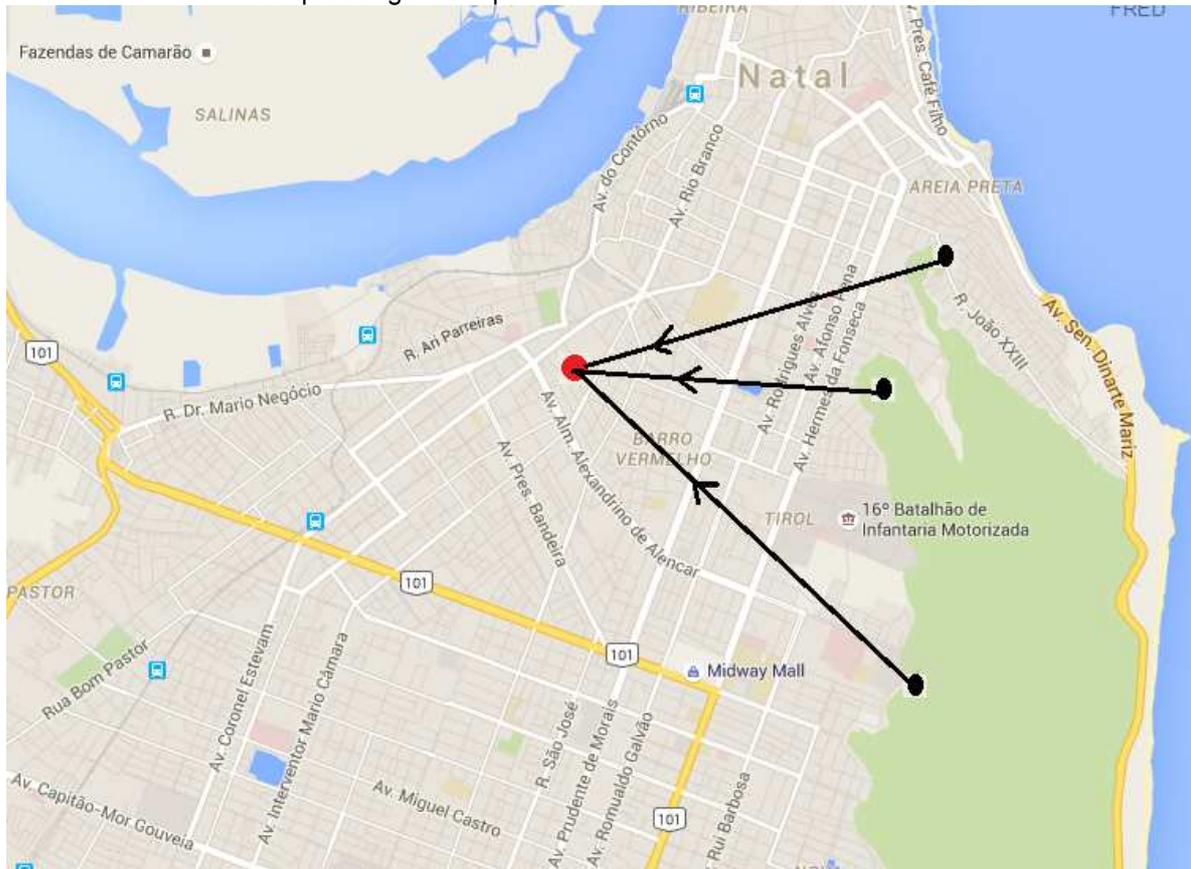
4.3 Metodologia para modelamento estatístico do campo elétrico gerado por emissoras de TV em Natal

A partir da constatação de que a maior contribuição na poluição eletromagnética da cidade do Natal é decorrente radiação emitida pelas estações de TV, desenvolveu-se um modelo objetivando definir equações que melhor caracterizassem a variação da Intensidade do Campo Elétrico decorrente desse serviço ao longo da cidade. O objetivo específico desse modelamento é permitir a extrapolação de valores médios prováveis de Intensidade de Campo Elétrico em qualquer ponto da área urbana de Natal.

Considerando a localização das estações transmissoras de TV indicadas nas Figuras 16, 17, 18 e 19, observa-se que as torres de transmissão das 18 estações estão agrupadas em três áreas (Sites) distintas, todas elas situadas em dunas no lado leste da cidade.

A Intensidade do Campo Elétrico gerado pelas TVs em qualquer ponto da cidade será o resultado do somatório vetorial dos campos gerados a partir dos 3 Sites, conforme mostra a Figura 23. Esse cálculo, seguindo estritamente a Teoria Eletromagnética, torna-se bastante difícil em decorrência da dificuldade ou quase impossibilidade da disponibilização de dados precisos sobre, edificações, trânsito de automóveis e movimentações de pessoas em cada linha de propagação de RF. Todos esses aspectos, entre outros, influenciam na ocorrência de múltiplas reflexões, refrações da onda e conseqüentemente no expoente da perda de propagação, conforme Tabela 9.

Figura 23 - Ilustração simplificada das radiações eletromagnéticas originadas em Transmissores de TV que atingem um ponto na área urbana da cidade de Natal



Fonte: Elaborado pelo autor com recursos do Google Maps

Tabela 9 - Expoente de perda de Propagação n para diferentes ambientes

Ambiente de propagação	Expoente de perda de propagação no trajeto n
Espaço Livre outdoor	2
Área Urbana	2,7 a 3,5
Linha de Visada <i>in door</i>	1,6 a 1,8
Obstruído <i>in door</i>	4 a 6
Obstruído em fábricas	2 a 3

Fonte: Rappaport (30)

Na sequência apresenta-se o desenvolvimento do modelo, o qual leva em consideração além dos conceitos fundamentais de Eletromagnetismo, a Técnica Estatística de Regressão Multivariada.

A potência decorrente de um sinal de rádio frequência (RF) em um ponto localizado a uma distância de d metros sem obstáculos da antena transmissora, pode ser dada pela equação (2).

$$P_R(d) = \frac{P_t G_t \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} = \frac{|E|^2 G_r \lambda^2}{480\pi^2} W(2)$$

Equação 2 - Potência de RF recebida à uma determinada distância do transmissor sem obstáculos

Na equação (2), $|E|$ é o módulo da intensidade do campo elétrico no ponto, G_t é o ganho da antena de transmissão λ é o comprimento de onda e P_t é a potência do transmissor. L é o fator de perda do sistema não relacionado à propagação ($L \geq 1$). Em ambientes com obstrução, ocorrem influências que afetam a equação (2), o expoente 2, por exemplo, será substituído por n , fator que depende do grau de obstrução existente no trajeto de propagação (topografia, edificações, movimentação de veículos, pessoas, etc.)(30).

O ganho G_t -e consequentemente a potência efetivamente radiada na direção considerada -pode variar com o ângulo de propagação de acordo com o diagrama de radiação da antena. As equações (3a) e (3b) são desdobramentos da equação (2).

$$|E| = \sqrt{\frac{30P_T G_T}{d^n}} \quad (3a) \qquad |E| = \frac{5,47\sqrt{ERP}}{d^{\frac{n}{2}}} \quad (3b)$$

Equação 3 - Intensidade do Campo Elétrico à uma determinada distância do transmissor

Nas equações (3a) e (3b), n é o expoente de perda de propagação.

No presente trabalho, a Intensidade do campo elétrico total em um ponto da área urbana foi desenvolvida a partir da equação básica (4).

$$|E|_t = \sum_{i=1}^k \frac{5,47\sqrt{ERP_i}}{d_i^{n/2}} \quad (4)$$

Equação 4 - Intensidade do Campo Elétrico em função da distância e da potência do transmissor

$|E|_t$: campo elétrico total no ponto (V/m), ERP_i : potência efetivamente radiada pelo transmissor i na direção do ponto localizado a uma distância d_i .

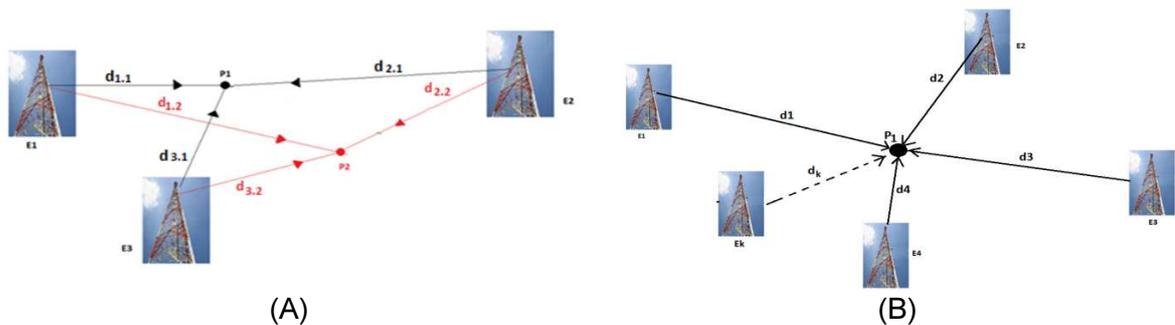
As potências ERP_i variam com o diagrama de radiação de cada antena transmissora.

Para modelamento da equação da Intensidade do Campo Elétrico, foi utilizada a expressão geral (5), considerando genericamente k transmissores de TV. Embora as informações das potências irradiadas por cada antena de TV em diversos azimutes tenham sido levantadas na ANATEL, é factível, em função de ajustes e manutenções, que os dados não estejam rigorosamente atualizados, daí optou-se por uma parametrização mais genérica. A Figura 24 (A e B) ilustra espacialmente o modelo.

$$|E|_t = \beta_0 + \beta_1 d_1^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 d_2^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 d_3^{\frac{-n}{2}} + \beta_4 d_4^{\frac{-n}{2}} + \dots + \beta_k d_k^{\frac{-n}{2}} \quad (5)$$

Equação 5 - Modelamento do Campo Elétrico gerado por diversos transmissores

Figura 24 - Ilustração do Campo Elétrico gerado por diversos transmissores e que atinge um ou mais pontos específicos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Existiam 18 estações de TV aberta em Natal quando da realização do presente trabalho, 13 desses transmissores estão localizados numa mesma área de dunas chamada Morro do Tirol, no lado leste da cidade. Os outros 5 transmissores estão distribuídos em 2 áreas, também sobre dunas, no bairro de Mãe Luíza e ao lado do Bosque dos Namorados. Dessa forma, embora existam 18 transmissores, com os 3 agrupamentos citados, o valor de k em (5) será inicialmente considerado igual a 3 para execução do modelamento estatístico.

Os coeficientes β_i foram obtidos a partir da equação 5 conforme a utilização da Regressão Multivariada para quatro áreas distintas da cidade, definidas de acordo com os ângulos azimutes entre o Morro do Tirol e cada ponto. Comparando as equações (4) e (5), observa-se que os coeficientes β_i serão proporcionais às potências efetivamente radiadas por cada grupo de transmissores na direção considerada.

A divisão em áreas distintas para análise, decorre de dois aspectos que foram considerados visando a busca de resultados com melhor precisão:

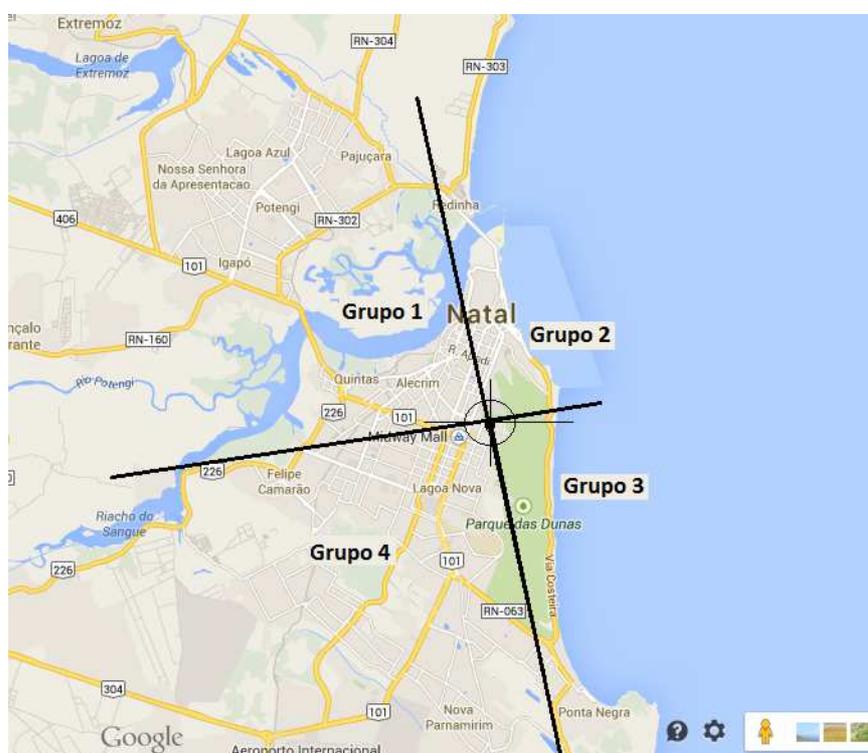
- i. As antenas transmissoras de TV operando em VHF e UHF têm diagrama de irradiação com característica não omnidirecional, emitindo, dessa forma, potências diferentes em direções (azimutes) diferentes;

- ii. O expoente de perda de propagação n , depende principalmente das características do relevo do terreno e das edificações existentes. Sendo factível a ocorrência de variações em decorrência de adensamentos distintos nos diferentes bairros e regiões da cidade.

Em função dos argumentos citados, foram definidas quatro áreas distintas para execução dos modelamentos para estimativa da Intensidade do Campo Elétrico. As áreas foram estabelecidas considerando principalmente: os lóbulos de irradiação das antenas, o grau de adensamento estabelecido pelo Plano Diretor da Cidade (capítulo III “Das Prescrições Urbanísticas Adicionais” §2º)(25).

O ponto de referência considerado para definição dessas áreas foi o local de maior concentração de Torres de TV na cidade: as dunas do Morro do Tirol. As coordenadas geográficas do ponto referenciado são: Latitude ($05^{\circ} 46' 00''$) e Longitude ($35^{\circ} 12' 00''$). A Figura 25 apresenta as áreas definidas, que foram denominadas “grupos”.

Figura 25 - Áreas distintas definidas para modelamento estatístico da Intensidade do Campo Elétrico



Fonte: Elaborado pelo autor com recursos do Google Maps

As quatro áreas indicadas recebem percentuais distintos de radiação emitidas a partir do Site Morro do Tirol. A Tabela 10 indica o rateio aproximado, considerando

as informações técnicas cadastradas na ANATEL referentes aos diagramas de irradiação das antenas e potências de transmissão de RF.

Tabela 10 - Delimitação das quatro áreas para aplicação dos modelamentos estatísticos

ÁREA	AZIMUTES (NV)	% DE POTÊNCIA RF IRRADIADA NA DIREÇÃO *
Grupo 1	252 a 342 graus	28
Grupo 2	342 a 72 graus	24
Grupo 3	72 a 162 graus	18
Grupo 4	162 a 252 graus	29

Fonte: Elaborado pelo autor

Em função dos agrupamentos efetuados nos transmissores (três Sites) e da separação em quatro áreas de análise, a expressão matemática referencial ficou reduzida à equação (6), aplicável em áreas distintas.

$$|E|_t = \beta_0 + \beta_1 d_1^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 d_2^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 d_3^{\frac{-n}{2}} \quad (6)$$

Equação 6 - Modelamento do Campo Elétrico gerado por 3 transmissores

A aplicação da equação (6) para diversos pontos de uma área urbana na qual foram feitas medições resulta no grupo de equações (7). As equações relacionam os valores efetivamente medidos com os calculados usando o modelo desenvolvido. Cada diferença é caracterizada como Erro. A Figura 25 dá uma visualização espacial simplificada para melhor entendimento no caso apenas 2 pontos.

$$E_1 = \beta_0 + \beta_1 (d_{1.1})^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 (d_{2.1})^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 (d_{3.1})^{\frac{-n}{2}} + \varepsilon_1 \quad (7)$$

$$E_2 = \beta_0 + \beta_1 (d_{1.2})^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 (d_{2.2})^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 (d_{3.2})^{\frac{-n}{2}} + \varepsilon_2$$

$$E_3 = \beta_0 + \beta_1 (d_{1.3})^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 (d_{2.3})^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 (d_{3.3})^{\frac{-n}{2}} + \varepsilon_3$$

$$E_p = \beta_0 + \beta_1 (d_{1.p})^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 (d_{2.p})^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 (d_{3.p})^{\frac{-n}{2}} + \varepsilon_p$$

Equação 7 - Especificação dos erros na aplicação do Modelo de Regressão

A concentração dos 18 transmissores de TV em três Sites, simplifica a equação (7). E a Regressão Estatística Multivariada processa as expressões acima na busca dos valores de β_0 , β_1 , β_2 e β_3 que possibilitem o erro quadrático mínimo. Esse processamento é feito a partir das derivadas parciais dos erros quadráticos.

No desenvolvimento a que está sendo apresentado os valores de β_i foram determinados para as quatro áreas com base na Teoria Estatística da Regressão Multivariada, considerando amostras de medições da intensidade do campo elétrico gerado pelas TVs realizadas em 160 pontos da área urbana na cidade de Natal (RN). Um banco de dados foi montado a partir das coordenadas de cada ponto, da medida de Intensidade de Campo Elétrico e das distâncias até as torres transmissoras de TV.

A análise de qualidade do ajuste foi feita com base no coeficiente de determinação R^2 , a avaliação crítica dos resultados levou em consideração aspectos de colinearidade estatística, também foi checado se os erros apresentavam distribuição próximo da Curva Normal. Os resultados estão apresentados na Tabela 14, no tópico 6 de Resultados e Conclusões, página 79.

5 ARTIGOS PRODUZIDOS

ARTIGO 1

Título:

Assessment of non-ionizing radiation from radio frequency energy emitters in the urban area of Natal City, Brazil

Scientific Research and Essays, Vol. 10 (2) .pp.79-85, 30January, 2015.

ArticleNumber: 769F19C 49799

Classificação do Periódico (CAPES): A2

ScientificResearchandEssays

DearProf PINHEIRO FRED SIZENANDO ROSSITER

I am happy to inform you that your manuscript has been accepted and it is currently undergoing publication process. Kindly login to our portal <http://ms.academicjournals.me> and [href="http://ms.academicjournals.me/">http://ms.academicjournals.me](http://ms.academicjournals.me) andmake payment using our online payment system

Manuscript handling fee: 550.00(USD)

Thank you for submitting your manuscript to our journal.

Best regards

Date	12-Jan-2015
ManuscriptNumber	SRE/25.06.14/6025
ManuscriptTitle	ASSESSMENT OF NON-IONIZING RADIATION FROM RADIO FREQUENCY ENERGY EMITTERS IN THE URBAN AREA OF NATAL CITY, BRAZIL
Payment Status	PaymentRequest



[View Archive](#)

Contacts Us

Editorial Office: sre@academicjournals.org

Accounts Unit: accounts@academicjournals.org

Help Desk: helpdesk@academicjournals.org

Submit manuscripts: ms.academicjournals.org/

Website: www.academicjournals.org/

**Thank you for submitting your manuscript to the
Scientific Research and Essays**

academicJournals

O Artigo “ASSESSMENT OF NON-IONIZING RADIATION FROM RADIO FREQUENCY ENERGY EMITTERS IN THE URBAN AREA OF NATAL CITY, BRAZIL” foi aceito para publicação no Scientific Research and Essays, Qualis: B2 para áreas Interdisciplinar e Engenharia e A2 para área Ensino, CAPES.

Abstract

The massive increase of wireless communications in the world calls for responsible actions by governments in order to prevent possible health hazards. In addition to cellular towers overcrowding in urban areas, it is also important to consider other radio frequency radiations from different sources. The electric field intensity is one of the fundamental parameters to assess the exposure of human beings to Non-Ionizing Radiation (NIR). In this study, all main non-ionizing radiation sources in the urban area of Natal, Brazil (a city of about 860.000 inhabitants) were located and characterized with respect to frequency band, telecommunications service and integrated electric field strength. Measurements of far electric field intensity with frequency ranging from 30 MHz to 3 GHz were made in a survey of 140 outdoor points spread across all the 167.26 km² area of the city. The results obtained have made it possible to draw a map of the regions of the city according to different electric field and ER intensities. In 71.4% of the sampled outdoor points, the highest Exposure Ratio measured were originated from TV broadcasting services, 22.1% from Transmissions Cellular Towers and 6.4 % from Frequency Modulated Broadcasting .

KEYWORDS: Non-Ionizing Radiation, Electric Field Intensity; TV Broadcasting; Radio Frequency Radiation; Measurement of Radio Frequency Radiation; Propagation in Urban Areas; ICNIRP.

(This work is partially supported by FAPERN and CNPq under the scope of covenant 005/2011 PPPIV / number 65, and by UFRN – PROGRAD / PROEX / PROPESQ internal project).

1 INTRODUCTION

Non-ionizing radiation (NIR) is the radiation in the part of the electromagnetic spectrum below 300 GHz where there is insufficient energy to cause ionization (ANATEL, 2002).

The United Nations Conference on Environment and Development held in 1992 in Rio de Janeiro established the Precautionary Principle, which has become the basis for environmental policies carried out by many countries, besides being the landmark for the structuring of the Environmental Law.

The Precautionary Principle is part of Principle 15 of the Declaration of Rio (2013) and states that “In order to protect the environment, the precautionary approach shall be widely applied by States according to their capabilities. Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation”.

ROS (reactive oxygen species) concentration increase within the cell caused by RF/MW radiation seems to be a biologically relevant hypothesis to give clear insight into the RF/MW action at non-thermal level of radiation (GOTSIS; PAPALIKOLAOU et al 2005).

Environmental protection norms set limits to existing Non-Ionizing Radiation emission and are inspired mainly by documents issued both by the ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) and the IEEE/ANSI (American National Standards Institute). The limits have been established essentially based on thermal effects of electromagnetic fields, which are well known. Lately, the non-thermal effects of Non-Ionizing Radiation (effects on the nervous, cardiovascular and immune systems, etc.) have been under research, and special attention is being drawn to a WHO (World Health Organization) project, which involves scientists from 45 different countries in an attempt to address the issue (ICNIRP, 1998).

The ICNIRP (1998) defined guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields. In establishing exposure limits, the commission recognizes the need to reconcile a number of differing expert opinions.

Electromagnetic fields with wavelengths longer than 10 m (frequencies lower than 30 MHz) have interaction properties which differ greatly from those with wavelengths that are approximately equal to or less than the physic dimension of the

human body. A radiofrequency band of 0.3-30 MHz, for example, is used in medicine for ablation, coagulation and tissue cauterization (LIN, 2012).

On the other hand, considerable controversy surrounds the possibility of a link between exposure to ELF (Extremely Low Frequency, ranging from 3 to 30 Hz) magnetic fields and an elevated risk of cancer. Although results suggest that indeed the magnetic field may play a role in the association with leukemia risk, there is uncertainty because of small sample numbers and also due to a correlation between the magnetic field and proximity to power lines (ICNIRP, 1998).

The intensity of the electromagnetic radiation is typically measured by the power density per square meter (W/m^2) or by the intensity of the electric field (V/m). The effects of the absorption of the NIR by human body tissues present distinctive characteristics for different radiation frequencies. On that account, the laws made to limit the exposure to NIR are parameterized by the frequency of the wave operation. Table 1 highlights this aspect.

Every tissue of the human body has a different energy absorption rate. This energy absorption can be characterized by a parameter known as Specific Absorption Rate (SAR). In practice, there are some difficulties in performing SAR measurements, the most important of them being the difficulty to measure inside the living tissue. Therefore, it is accepted the radiation measurements in air. These levels will, in general, be smaller inside the biological tissue due mainly to attenuation of the radiofrequency energy traveling through various material media (PÉREZ-VEGA; ZAMANILLO, 2005).

The SAR (especially in the head of mobile phone users) may be simulated using Mathematical methods, for example the Finite Difference Time Domain – FDTD (SALES; FERNANDEZ; BONADIMAN, 2003).

There is a scientific debate on whether or not a long exposition to electromagnetic radiation levels lower than the limits could cause harmful effects on health. Many research projects are involved in this investigation by *in vivo*, *in vitro* and epidemiological studies (FEYCHTING; AHLBOM; KHEIFETS, 2005).

Eskander, Selim and Ahmed (2012) published a case-study report as follows: “Persons of ages 14–22 years or 25–60 years who were exposed, for time intervals extended to 6 years, to RFR either from mobile phones or from base stations suffered

significant decreases in their plasma ACTH and serum cortisol levels as compared to the control group. High significant decrease ($P < 0.01$) in plasma ACTH and serum cortisol levels was observed for persons exposed to RFR from base stations at distances extended from 20 to 500 m for a period of 6 years as compared to the control group”.

The definitions of human exposure limits (ICNIRP, 1998) is the main reference used for ANATEL (2002) in Resolution Number 303. Table 1 illustrates it.

Table 1-EXPOSURE LIMITS TO NIR (GENERAL POPULATION) ANATEL

Frequency Range	Electric field strength (E) (V/m)	Magnetic field strength (H) (A/m)	Plane-wave equivalent power density (Seq) (W/m ²)
9KHz- to 150 KHz	87	5	x
0,15 to 1 MHz	87	0.73/f	x
1 MHz to 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0.73/f	x
10MHz to 400MHz	28	0.073	2
400MHz to 2000MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	f/200
2GHz to 300 GHz	61	0.16	10

The Federal Law 11.934 (BRAZIL, 2009) defines minimum distances of at least 50 m from Radio Transmission Stations to “critical areas” (hospitals, schools, asylums, nurseries, clinics).

Measurements of RF level very close to 4 Base Cellular Stations (near field, 5m, 15m and 25m) in Benin City (Nigeria) at frequency 1800 MHz, shows higher values at 15m away (BLACK; HENRY, 2010).

In Italy (Region Valle d’Aosta) measurements of the Electro Magnetic Fields (EMF) emitted by 3 UMTS base stations have been correlated with network counters related to traffic variation and radiated power, in order to obtain a more realistic yet conservative calculation of the EMF emitted from a UMTS base station. The highest value of power obtained from the data averaged over 6 minutes was approximately the 75% of the maximum theoretical power that a radio base station can transmit (BOTTURA; CAPPIO et al.2012).

2 Materials and Methods

In this study, the Electric Field Intensities in the urban area of the city of Natal were measured with a Rohde & Schwarz FSH6 spectrum analyzer connected to an isotropic probe with a frequency range from 30MHz to 3000 MHz. The probe was fixed to a wooden tripod (1.65m). A GPS and a notebook computer completed the system in order to run the proprietary software and to communicate with the spectrum analyzer. Three-axis Polarization probe measurement in x, y and z and quadratic composition of the fields. Antenna Cable Set (only without connectorization) and short length, provided. Trace Mode / Detector: Max Hold / RMS.

The adopted frequency ranger covers most of the radio broadcasting services, the entire mobile telephony service and the IEEE 802.11 b/g systems. The isotropic probe has directivity close to unity (in linear scale), which means that it receives the signals coming from every direction almost equally, it is controlled by proprietary Rohde & Schwarz software, allowing the user to configure the "measurement packets" for each service and therefore to run the entire setup with just a few commands.

Measurements were done preferably at peak mobile telephony times, in order to maximize the probability of getting higher signal levels (10.00 am to 12.30 am and 3.00 pm to 7.00 pm), in far-field zone in 140 outdoor points covering all districts including the main streets and the neighborhoods of Cell Towers (including line of sight points), shopping malls, hospitals and schools, defined basically according to population density criteria. The chosen points are at an average distance of 320 meters from the nearest tower base station.

The equipment comes with proprietary software designed with some specialized features to perform NIR measurements. Particular characteristics of each service require different measurement packets to be configured. Frequency range, modulation type and transmission dynamics are among the main characteristics affecting measurement setup. Since the interest was in the analysis of EMF radiation from base stations, only the downlink emissions were measured.

The measurement packets of the software were adjusted according to Rhode Schwartz User Manual Instructions to our specific needs (different signal variability for different services and Brazilian service regulation / ICNIRP). The "dwell time" and bandwidths were adjusted according to Table 2. Hardware and software of FSH6 Spectrum Analyzer used are dedicated to this type of measurements.

The mean was computed considering all loops. Measurement uncertainty (mean) of 0.14 dB.

Table 2- CONFIGURATION OF PACKAGES (FSH6 S. ANALYZER)

Services / Parameters	TV	FM Radio	Wi-Fi (2,4 GHz)	2G (GSM)	3G(UMTS)
Video BW	Auto	-----	-----	-----	-----
Dwell time	50 ms	50 ms	5000 ms	1000 ms	50 ms
BW for each central frequency	6 MHz	200 kHz	22 MHz	200 kHz	5 MHz



Fig.1-Measurement equipments near a beach in the city of Natal.

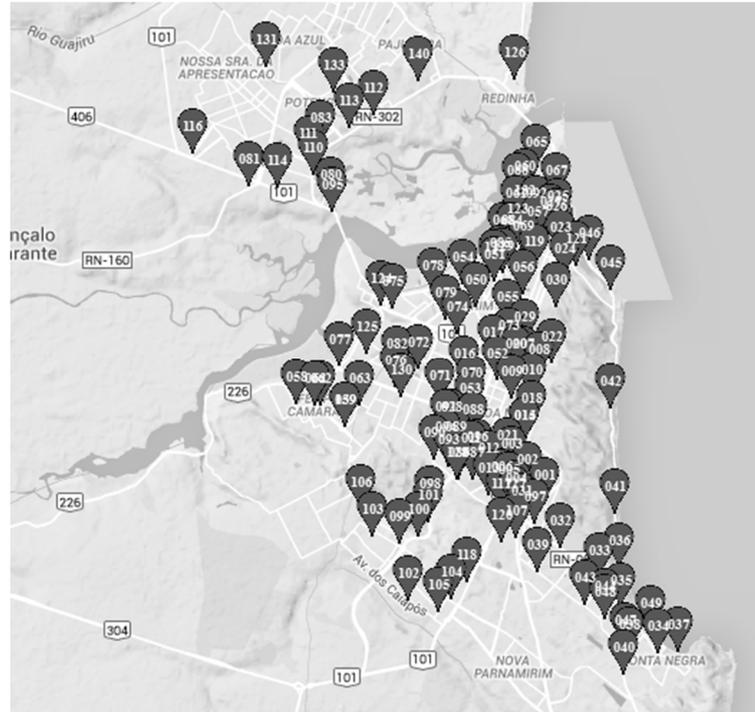


Fig 2-Points of measurements in the urban area of Natal

3 RESULTS

In September 2014, in the Urban Area of Natal, there were about 875 cellular Base Stations (358 Towers), 18 TV Broadcast Stations, 6 OM and 12 FM Broadcast Radio Stations. Most of the broadcast stations are located at east side of the city.

The highest values for Electric Field Intensity were observed for TV Broadcast Service in 68.6 % of the measured points, details in Table 3.

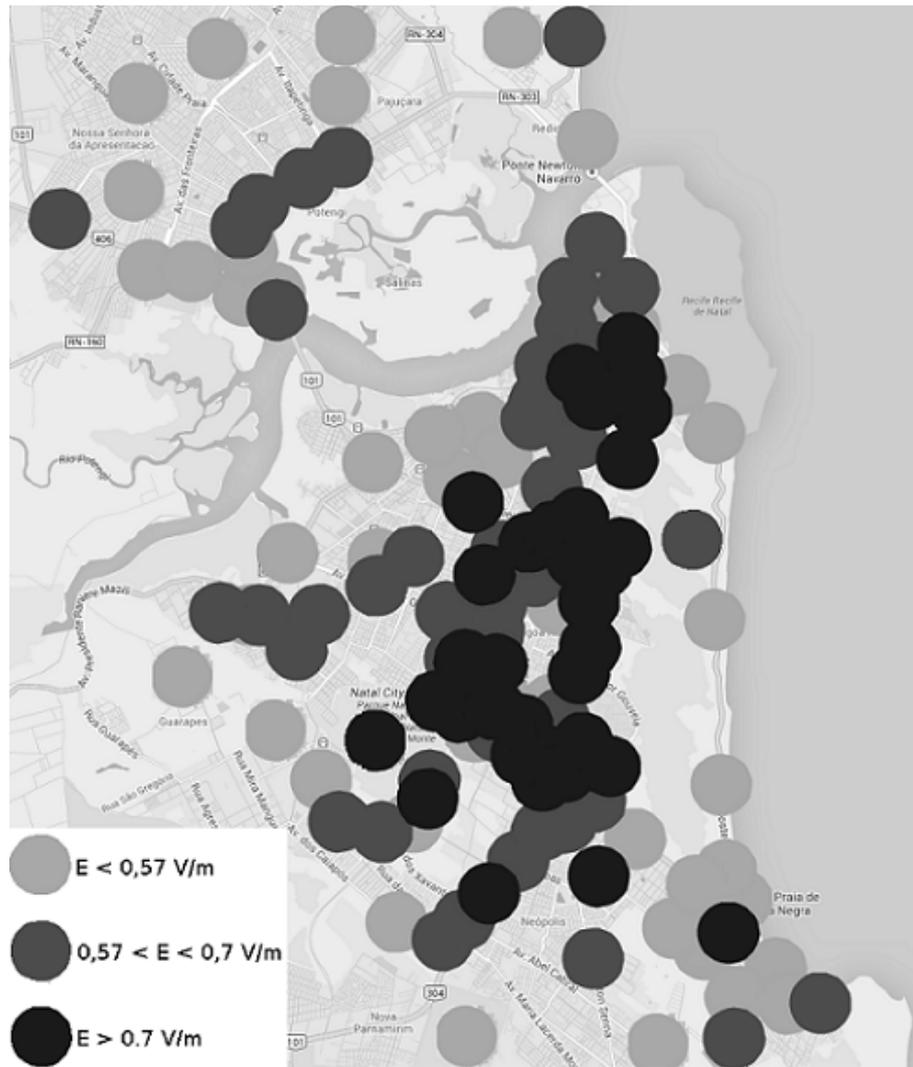


Fig. 3- Map of the regions of the city according to different Electric Fields Intensities.

Table 3- Summary of Electric Fields Measurements

Service	Mean (V/m)	Highestvalues* (V/m)	% HighestValues**
TV Broadcast	8.14E-01	6.11E+00	68.6
Mobile Telephony (2G / 3G)	6.25E-01	4.39E+00	27.1
FM Radio Broadcast	2.25E-01	1.35E+00	4.3
WLAN (IE 802.11bg)	1.83E-01	2.24E-01	0.0

* Maximum for each service in all measured points.

**Percentage in which each service has the greatest electric field compared to other 3 services researched.

The "exposure ratio" (ER) is one meaningful parameter to be analyzed. It is a quadratic relation between the measured electric field in a specific center frequency and the exposure limit for that frequency (from Table 1). The ER is recommended by both ICNIRP (1998) and ANATEL (2002) for this kind of measurement.

$$ER = \sum_i \frac{E_{m,i}^2}{E_{L,i}^2} \leq 1 \quad (1)$$

In (1), for each channel centered on frequency i , $E_{m,i}$ is the measured electric field, whereas $E_{L,i}$ is the limit for that frequency according to Table 1.

So, in the measurement point, the sum of all individual ERs (each one computed using electric field values –measured and limit – for a single frequency) must be less than or equal to the unity (see (1), which presents the overall ER). It means that the contribution of the ensemble of services to human exposure to NIR is below or equal to the limit.

TV Broadcast Service dominates the ER composition, details in table 4.

Table 4- ExposureRatioResults

Service	Meanconsideringall Points	HighestValues*	% ER HighestValues**
TV Broadcast	2.05E-03	4.77E-02	71.4
Mobile Telephony	5.79E-04	3.29E+00	22.1
FM Broadcast	1.35E-04	1.12E+00	6.5
WLAN (IE 802.11bg)	1,07E-05	1.35E-05	0.0

* Maximum for each service in all measured points.

**Percentage in which each service has the great ER compared to other 3 services

4 DISCUSSIONS

In spite of having about 340 Radio Base Stations Towers spread across the urban area, the Mobile Telephony is not the principal source of non-ionizing

electromagnetic radiation in Natal. Radiation from TV Broadcast is the highest in most part of the city.

Non ionizing Radiation levels measured in Greece were also significantly below the safety reference levels. Specifically, 90% of the stations have been measuring electric field strength values below 3 V/m (GOTSIS; PAPALIKOLAOU et al., 2005)

Measurements at SakaryaMaltepe in Turkey results highest reading of electric field strength for FM Radio Services, the highest reading there was 2.19 V/m (TESNELI; TESNELI et al., 2011).

In Romania measurements of LTE1800 and LTE2600 were done in the city of Iasi. According to the measurements performed for this preliminary survey, the maximal extrapolated E-field values varied from 0.008 V/m to about 3.5V/m, which is less than 5.5% of the exposure limit. (LUNCA; DAMIAN et al., 2014).

In a practical exposure situation, the effects of simultaneous different NIR frequencies (FM, TV, WIFI and Cellular) are additive. Using equation (1), the total ER for the all measured points is 0,38, below the unity.

5 CONCLUSIONS

Non ionizing Radiation levels measured (Electric Fields) in Natal city were below the safety reference levels.

The intensity of electromagnetic waves from 18 TV Broadcast stations is higher in 68.6% of the sampled measurement points. TV Broadcast services dominate ER composition even for some points closer to towers of Mobile Telephony. There are some reasons to explain these results: the high power of TV Transmissions (9 to 101 kW ERP in Natal City) and the high technology of Mobile Telephony Transmissions. Most cellular radio systems provide for the use of transmitter power control to reduce co channel interference for a given channel allocation. In this case, the effective power of the GSM (Global System for Mobile) and UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) transmissions is dynamic and rationally controlled according to instantaneous traffic of mobile calls and data communications. Cell phone

towers are considered as low power installations when compared with broadcast TV (NWORGU; ANYAEJI et al., 2010).

The highest composed (all services) measured electric field value was 7.78 V/m at P22.

Maximum exposure ratios are well below the ICINRP / ANATEL limits for Non-ionizing Radiations. The highest ER of $4.77 \cdot 10^{-2}$ at P22 (TV) is below the unity.

More precise assessment about Mobile Telephony radiation must be analyzed with care, such as measurements in points aligned in azimuth and elevation with the base stations' antennas.

New field measurements will be necessary to monitor the significant growth of 4G base stations, expected for the current and next years.

REFERENCES

Agência Nacional de Telecomunicações (2002). Regulamento sobre limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz. Annex to Resolution n° 303, Brazil.

Levitt B, Lai H (2010). Biological Effects from exposure to electromagnetic radiation emitted by cell tower base stations and other antenna arrays. *Environ Rev.* 18: 369–395.

Brazil (2009). Brazilian Law n° 11.934. [site visited on 2014 Mar. 29]. Available from: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L11934.htm.

Eskander EF, Estefan S, Abd-Rabou AA (2012). How does long term exposure to base stations and mobile phones affect human hormone profiles? *Clinical Biochemistry.* 45: 157–161.

Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L (2005). EMF and health. *Annu Rev Public Health.* 26: 165-89.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics.* 74(4): 494-522.

Nworgu OD, Anyaeji CA et al (2010). Measurement of radio frequency radiation (RFR) power levels from some GSM base stations. *Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics*. 17: 469–474.

Pérez-Vega C, Zamanillo JM (2005). Measurements of Non-Ionizing Radiation Levels in an Urban Environment. University of Cantabria, Communications Engineering Department (DICOM), Santander, Spain.

Salles AA, Fernandez CR, Bonadiman M (2003). FDTD simulations and measurements on planar antennas for mobile phones. *Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). Proceedings of the 2003 SBMO/IEEE MTT-S International*. 2: 1043-1048.

Tesneli AY, Tesneli NB et al Measurements of Electromagnetic Radiation in an urban environment. [site visited on 2014 Dec. 1]. Available from:

<http://memberfiles.freewebs.com/14/16/50451614/documents/MEASUREMENTS%20OF%20ELECTROMAGNETIC%20RADIATION.pdf>

The Rio Declaration: Principle 15 – the Precautionary Approach. Urban Governance: precautionary principle. [site visited on 2013 Nov. 11]. Available from: <http://www.gdrc.org/u-gov/precaution-7.html>.

GOTSIS; PAPALIKOLAOU et al (2005). Non Ionizing Electromagnetic Radiation monitoring in Greece. Available from: <http://ikaros.teipir.gr/era/era2/A2/A21.pdf>

MARJANOVIĆ AM et al (2012). Biological Indicators in Response to Radiofrequency / Microwave Exposure. *Arh Hig Rada Toksikol* 2012;63:407-416. Available from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23152390>

LUNCA; DAMIAN et al (2014). EMF Exposure Measurements on 4G/LTE Mobile Communication Networks. 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2014), 16-18 October, Iasi, Romania ,pp 545.

BOTTURA; CAPPIO et al (2012). Measurements of Electromagnetic Field strength in Urban Environment from UMTS Radio base Stations and Analysis of the Relation with the Radiated Power.

<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&tp=&arnumber=6396896&queryText%3DMeasurements+of+Electromagnetic+Field+>

6 COMENTÁRIOS, CRÍTICAS E CONCLUSÕES

6.1 RESULTADOS / CONCLUSÕES

A Tabela 11 resume os resultados das medições efetuadas em 160 pontos da área urbana de Natal. Comparativamente, os maiores valores encontrados foram observados para a radiação eletromagnética emitida pelos transmissores da TV aberta. Em 77,2 % dos pontos aferidos, a intensidade do campo elétrico gerado pelas TVs superou os demais serviços pesquisados.

Tabela 11 - Resumo das Medidas de Intensidade de Campo Elétrico

Serviço	Média (V/m)	Maiores Valores (V/m)	% dos maiores valores
TV Aberta	5.14E-01	4.18E+00	77.2
Sistema Celular (2G / 3G)	3.79E-01	4.19E+00	13.0
Rádio FM	2.15E-01	1.35E+00	9.8
WLAN (IEE 802.11bg)	1.85E-01	2.24E-01	0.0

Fonte: Elaborado pelo autor

As medições efetuadas nos 160 pontos estão relacionadas no Apêndice 1

Tabela 12 - Comparação das Medidas do Campo Elétrico com limites de Exposição

Serviço	Média (V/m)	Maiores Valores (V/m)	Valor Limite (V/m) *	% Média/Limite	% Maior/Limite
TV Aberta	5.14E-01	1.78E+00	28	1,84	6,34
Sistema Celular (2G / 3G)	3.79E-01	3.29E+00	27,5	1,38	11,97
Rádio FM	2.15E-01	1.35E+00	28	0,78	4,82
WLAN (IEE 802.11bg)	1.85E-01	2.24E-01	61	0,31	0,37

*Conforme ANATEL para população em geral (menor valor da faixa)

Fonte: Elaborado pelo autor

Embora a Tabela 12 já sirva como uma comparação inicial de dados, ainda não está no formato recomendado pelo ICNIRP. Essa avaliação efetiva dos resultados globais da campanha de medições na cidade foi feita com base do parâmetro “Razão de Exposição” (ER), conforme está detalhado na sequência.

A Razão de Exposição (*Exposure Ratio*) é uma relação quadrática entre os campos elétricos medidos em torno de uma frequência central e o valor do campo elétrico estabelecido como limite de exposição especificado para essa frequência central. Foi adotado como referência de limite de exposição os valores definidos pela ANATEL / ICNIRP para a população em geral e constantes na Tabela 4.

A Razão de Exposição é o procedimento de aferição recomendado pelo ICNIRP (*Guidelines*) para situações de exposição simultânea com radiações de diferentes frequências onde os efeitos são aditivos para o corpo humano.

$$ER = \sum_i \frac{E_{m,i}^2}{E_{L,i}^2} \leq 1 \quad (8)$$

Inequação 8 - Razão de Exposição para RNI em multifrequências de RF

Na inequação (8), para cada canal centralizado em determinada frequência i , $E_{m,i}$ é a Intensidade de Campo Elétrico medida, enquanto $E_{L,i}$ é o limite de exposição (Campo Elétrico) estabelecido para a população em geral no Brasil para essa frequência, conforme ANATEL/ICNIRP, de acordo com a Tabela 14, colunas 1 e 2. A condição “menor ou igual a um” em (16), para cada ponto de medida, indica que a radiação eletromagnética está dentro dos limites aceitáveis pela norma vigente. A ER é recomendada para esse tipo de medição tanto pelo ICNIRP (desde 1998) quanto pela ANATEL (desde 2002).

De uma maneira geral, o somatório total indicado em (7) indica a situação de exposição global à RNI em um ponto da área urbana analisada. O resultado $ER < 1$ caracteriza que a exposição à RNI está abaixo dos limites definidos pela legislação ambiental.

Conforme a Tabela 13, o resultado médio global da Razão de Exposição para os 160 pontos medidos ($4.43E-03$), decorrente das radiações emitidas pelos 4 tipos de serviços pesquisados, indica uma situação $ER < 1$, bastante confortável em relação aos limites definidos pela ANATEL e ICNIRP. Apesar do resultado médio tranquilizador, deve ser levado em conta, entretanto, que o valores máximos de exposição, localizados no bairro do Tirol, chegam a ser 177 vezes superior à média.

Tabela 13 - Resultados da Razão de Exposição (ER) por serviço em NATAL RN

Serviço	Média considerando todos os pontos	Maiores Valores (ER)	% ER (Participação Média por Serviço)
TV Broadcast	2.15E-03	5.27E-02(P22)	48.48
Sistema Celular	1.56E-03	1.27E-03(P136)	35.10
FM Broadcast	7.18E-04	5.12E-03(P 151)	16.18
WLAN (IE 802.11bg)	1,07E-05	1.25E-05 (P138)	0.24
TOTAL	4.43E-03	7.67E-02	100

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar dessas diferenças, em nenhuma situação medida ocorreu superação ao limite de exposição estabelecido para o público em geral. Os valores máximos de exposição (ER) foram observados predominantemente nos pontos de medição localizados nos bairros Tirol, Lagoa Nova e Petrópolis. A Figura 26 ilustra uma das áreas com valores de ER no Bairro Tirol.

Figura 26 - Uma das áreas de maior concentração de emissão de radiação não ionizante em Natal, Torres sobre as dunas do Morro do Tirol, proximidades do cruzamento da Av. Hermes da Fonseca com Rua Ceará Mirim

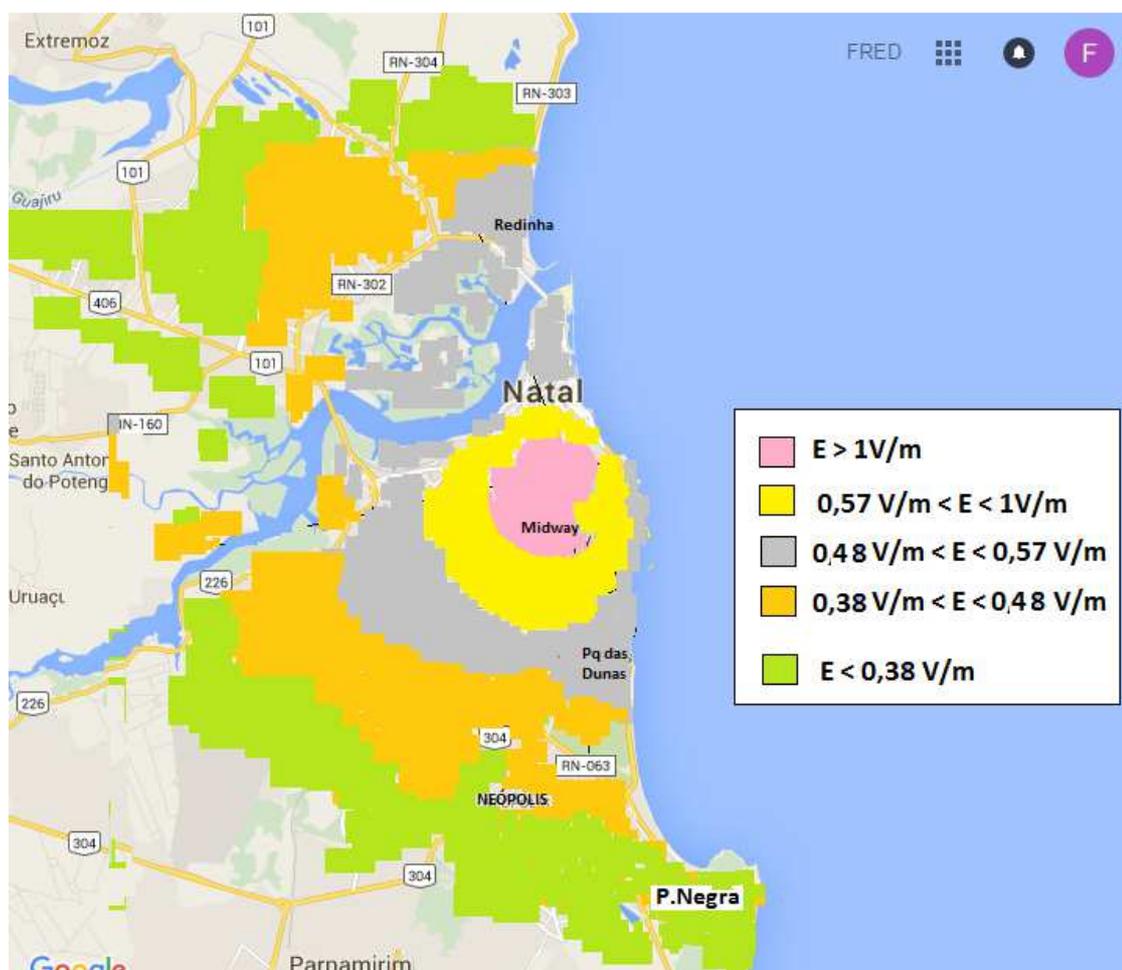


Fonte: Acervo próprio

A radiação eletromagnética gerada pelos transmissores de TV contribui com quase a metade do total da Exposição eletromagnética (48,48 %) na cidade, sendo também responsável pontualmente pela maioria dos valores de pico (máximos). Comparando os números apresentados nas Tabelas 12 e 13, observa-se que, a ordem de participação na poluição eletromagnética da cidade se mantém na sequência: 1- TV; 2-ERBs Celulares; 3- Rádios FM's; 4- Sistemas IEEE 802.11 (WiFi).

Em função dos diferentes valores dos limites de exposição estabelecidos para cada faixa de frequência, contata-se um aumento na participação da exposição decorrente das Emissoras de Rádio FMs. É importante destacar esse detalhe porque já existe uma previsão oficial da ANATEL e MINICOM (Portaria N° 127, publicada em 13 de março de 2014) para migração das 6 emissoras de Natal que operam em AM para a faixa de FM. Esse fato, deverá contribuir para aumentar a radiação na referida faixa de frequência. A expectativa é que a as FMs tenham participação na exposição eletromagnética próxima às ERBs celulares. A Figura 27 apresenta um mapa com a distribuição da variação de Intensidade de Campo Elétrico na área urbana de Natal.

Figura 27- Distribuição geográfica da Intensidade do Campo Elétrico gerado por Transmissores de sinais de TV conforme medições realizadas na área urbana de Natal



Fonte: Elaborado pelo autor

Um destaque que pode ser evidenciado no presente trabalho é o fato de que as 882 Estações Rádio Base instaladas em 375 torres do Sistemas Celulares não são

as principais responsáveis pela poluição eletromagnética na cidade do Natal. As 18 estações de TV existentes na capital potiguar, a primeira delas (TV-U) operando desde 1972, têm participação bem mais relevante na emissão de radiação eletromagnética não ionizante.

A explicação para essa inesperada conclusão pode ser dada por dois principais aspectos:

- i. A tecnologia adotada nos transmissores das ERBs celulares é bem mais moderna, na qual cada transmissor só é ligado nos instantes em que efetivamente está transmitindo informações. Dessa forma, a radiação é emitida de forma descontínua, às vezes em forma de rajadas, minimizando a poluição eletromagnética. Por outro lado, os transmissores de TV e de Rádios FM têm transmissões contínuas, ininterruptas, mantendo sempre presente o sinal no ar.
- ii. As potências dos transmissores de TV são bem mais elevadas, alcançando valores de radiação emitida no ar entre 14,87 KW e 102,63 KW. A maioria das ERBs celulares opera entre 10W e 40 W. (Dados da ANATEL)

Apesar da predominância mais relevante dos sinais de TV, observa-se, em diversos pontos da cidade, alteração desse quadro com picos de radiação também para ERBs celulares ou para Rádios FM. O serviço WLAN (IE 802.11bg) (WiFi) medido em ambientes externos (áreas abertas) sempre se apresenta com níveis de radiação bem abaixo dos demais serviços pesquisados.

O resultado da Regressão Multivariada para determinação de equações estimativas da Intensidade do Campo Elétrico decorrente de Transmissores de TV na cidade do Natal está apresentado na Tabela 14.

Os valores β_0 , β_1 , β_2 , β_3 e n (expoente de atenuação de propagação) são os coeficientes indicados na equação (8) e que repetimos a seguir. As variáveis independentes d_1 , d_2 e d_3 são as distâncias em km do ponto considerado até cada um dos três Sites onde se localizam as torres de TV (Morro do Tirol, Dunas do Bosque dos Namorados (TV U, etc.) e Mãe Luíza). $|E|_t$ é a variável dependente, correspondendo à Intensidade do Campo Elétrico.

$$|E|_t = \beta_0 + \beta_1 d_1^{\frac{-n}{2}} + \beta_2 d_2^{\frac{-n}{2}} + \beta_3 d_3^{\frac{-n}{2}} \quad (9)$$

Equação 9 - Intensidade do Campo Elétrico em um ponto decorrente de três transmissores de RF

A Tabela 14 indica os melhores resultados obtidos através do Software R (*R Development Core Team, 2015*). Para cada área, foram testados expoentes de atenuação de propagação entre 2,0 e 3,9.

Tabela 14 - Resumo dos Resultados obtidos para os coeficientes com Método de Regressão através Análise Multivariada de Dados (Melhores resultados)

Área	β_0	β_1	β_2	β_3	n	R ²
1	0.1771	1.4838	0.3869	0	2.6	0.998
2	0.1323	0.9714	0.5095	0.4280	3.4	0.999
3	0.0279	2.0840	0	0	3.8	0.997
4	0.179	1.7327	0.3743	0	3.0	0.923

Fonte: Elaborada pelo autor

Observa-se que nas áreas 1,3 e 4, a melhor solução estatística foi obtida com a redução da quantidade de Sites. Isso pode ser interpretado como sendo decorrência da relativa proximidade entre as torres dos diferentes Sites, que provocou colinearidades nas avaliações estatísticas iniciais. Os expoentes de atenuação (n) que melhor representam as diferentes regiões da cidade ficaram com valores entre 2,6 e 3,8. Os valores encontrados de R²—entre 0,999 e 0,923 —atendem plenamente a meta de convergência. As avaliações estatísticas envolvendo os melhores resultados por área estão apresentados no Apêndice 2.

6.2 COMENTÁRIOS, CRÍTICAS E SUGESTÕES

Essa Tese apresenta diversos aspectos de contribuição para o estudo e avaliação da emissão de Radiação Não Ionizante. Destacamos os seguintes elementos:

- (a) Apresentação de um procedimento de avaliação da poluição eletromagnética em área urbana, que considera simultaneamente a contribuição das principais fontes emissoras de RNI;

- (b) Mapeamento da Intensidade do Campo Elétrico e da Razão de Exposição à Radiação Não Ionizante em toda extensão territorial na cidade do Natal;
- (c) Avaliação da influência comparativa dos diversos serviços de telecomunicações sem fio na contribuição para o Campo Elétrico na cidade;
- (d) Modelamento da variação da Intensidade do Campo Elétrico decorrente do serviço mais impactante na emissão de RNI em toda extensão territorial da cidade do Natal. Utilização da Técnica Estatística da Regressão Multivariada, com resultados que permitem o cálculo do Campo gerado pela totalidade dos Transmissores de TV em qualquer ponto da cidade;
- (e) Comparação da RNI emitida em Natal com limites de exposição oficialmente estabelecidos.

Essas contribuições, além de servirem de subsídio para o prosseguimento de outros trabalhos científicos decorrentes, poderão ter especial utilidade para os órgãos de Controle Ambiental. O mapeamento dos resultados das aferições efetuadas em todos os bairros da cidade do Natal e parte do município de Parnamirim podem servir de embasamento para a execução de ajustes racionais nos procedimentos de fiscalização e protocolos para autorização de instalação de novas torres de telecomunicações.

Em relação ao anteprojeto inicialmente apresentado ao PPGCSA para o Doutorado, foi possível trabalhar na temática pretendida, embora alguns ajustes tenham sido necessários. Uma das dificuldades encontradas foi a impossibilidade de obtenção de dados históricos confiáveis que possibilitassem um mapeamento da incidência de câncer cerebral / leucemia com a proximidade das residências em relação às torres de telecomunicações em Natal.

Outra dificuldade foi a lentidão na execução da campanha de medições da intensidade das radiações por toda cidade. Essa lentidão foi decorrente de: não disponibilidade de instrumentos alternativos na UFRN, tempo médio para execução das medições acima do esperado e eventuais problemas com viaturas.

Se ocorreram dificuldades, também deve ser destacado o surgimento de novas ideias em decorrência do convívio acadêmico no PPGCSA, a principal delas cursando as disciplinas Bioestatística I e II, quando verifiquei a possibilidade de utilizar conhecimentos de Análise Multivariada de Dados na minha Tese.

Como engenheiro, foi muito gratificante conviver e trocar experiências com médicos, farmacêuticos, educadores físicos, biólogos e outros profissionais predominantemente formados na área biomédica. Tudo isso, me possibilitou um olhar mais holístico sobre a ciência, me motivando ainda mais a desenvolver e concluir um trabalho multidisciplinar que envolve aspectos de Eletromagnetismo, Controle Ambiental e Medicina.

Os resultados do trabalho que desenvolvi poderão servir como um diagnóstico da situação atual de exposição à Radiação Eletromagnética Não Ionizante na cidade do Natal, podendo o modelo utilizado ser aplicado, com adaptações, em outras cidades.

Além do aspecto científico, é importante destacar a importância dos resultados dessa Tese para esclarecimento à população residente em relação à poluição eletromagnética.

Ao longo do envolvimento nos trabalhos com RNI, participamos do Trabalho: *“Measurements of Non-Ionizing Radiation on Urban Environment and Preliminary Assessment of Relative Contribution Among Different Services”*, o qual foi parte do IMOC 2013, *International Microwave and Optoelectronics Conference*, realizado no Rio de Janeiro.

Devo destacar que a execução do trabalho contou com o apoio decisivo da UFRN através dos Projetos de Ações Integradas a seguir relacionados.

- 1- “Estudos a respeito da determinação de níveis de exposição humana à radiação não-ionizante e possíveis consequências desta exposição”. Anos: 2012 e 2013.
- 2- “Estudos dos Impactos causados pelas Estações de Transmissão de rádio frequência instalados no topo de edifícios e em ambientes de importância cênica / histórico cultural na Região Metropolitana de Natal”. Ano: 2012.

O envolvimento nos estudos sobre RNI também suscitou o recebimento de convites para participação em eventos e reuniões relativos à área de comunicações sem fio na Copa do Mundo ocorrida em 2014 e Audiência Pública sobre implantação de novas Torres de Sistemas Celulares na cidade.

O presente trabalho, mais que o final de um processo, pode servir de base para uma sequência de novas pesquisas cobrindo aspectos aqui ainda não tratados. A radiação acima de 2,5 GHz nos sistemas celulares 4 G ainda precisa ser aferida. Dessa forma, os estudos feitos com base nas medições feitas no chão e em ambientes outdoor, podem ser estendidas a apartamentos situados próximos a torres, praças de alimentação de shopping centers e interior de veículos. Outro aspecto que também pode ser pesquisado é a radiação denominada “*uplink*” transmitida pelos aparelhos celulares e dispositivos similares na direção das Estações Rádio Base.

A contínua evolução da tecnologia da Comunicação Celular e de inúmeros aplicativos *wireless*, também estão exigindo que a vigilância no monitoramento das radiações seja mantida e até adaptadas às novas faixas de frequência e novas formas de posicionamento físico em relação aos aparelhos móveis, incluindo notebooks e equivalentes.

REFERÊNCIAS

1. Ribeiro JAJ. Engenharia de microondas - Fundamentos e aplicações. São Paulo: Érica; 2008. 624 p.
2. ICNIRP IC on N-IRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* [Internet]. 1998;74(4):494–522. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=9525427
3. Nouailhetas Y. Radiações ionizantes e a vida [Internet]. Apostila Educativa. CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear; 2000 [cited 2014 Aug 20]. Available from: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>
4. EPA, AGENCY PROTECTION USE. Radiation Protection [Internet]. Radiation Basics. 2015 [cited 2015 Sep 23]. Available from: <http://www2.epa.gov/radiation/radiation-basics>
5. Lin JC. *Electromagnetic Fields in Biological Systems*. CRC Press; 2011. 458 p.
6. COST EC in S and T. *Biomedical Effects of Electromagnetic Fields*. 2000.
7. Perallos A, Hernandez-Jayo, Unai Onieva E, Zuazola IJG. *Intelligent Transport Systems: Technologies and Applications*. Wiley; 2015. 368 p.
8. Gabriel C, Gabriel S, Corthout E. The dielectric properties of biological tissues: I. Literature survey. *Phys Med Biol*. 1996;41(11):2231–49.
9. Yoo DS. The dielectric properties of cancerous tissues in a nude mouse xenograft model. *Bioelectromagnetics*. 2004;25(April 2003):492–7.
10. Lin JC, Bernardi P. Computational Methods for Predicting Field Intensity and Temperature Change. In: Barnes FS., Greenebaum B, editors. *Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields*. CRC Press; 2006.
11. Anguera MDG. Exposição à radiação não ionizante emitida por equipamentos terapêuticos [Internet]. Universidade de São Paulo; 2012. Available from: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5137/tde-14012013-115721/pt-br.php>
12. Giovani B. Cálculo de taxa de absorção específica e aumento de temperatura em modelos de cabeça de adulto e criança [Internet]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2006. Available from: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8934/000591197.pdf?sequence=1>
13. Durney CH, Massoudi H, Magdy F. Iskander. *Radiofrequency radiation dosimetry handbook*. Salt Lake City; 1986.
14. Carlo GL, Supley M, Hersemann SE, Thibodeau P. *Wireless Phones and Health: Scientific Progress* [Internet]. Kluwer Academic Publishers; 1998. 415 p. Available from: <https://books.google.com.br/books?id=oVT1BwAAQBAJ&printsec=frontcover&>

- hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
15. Salles AA de, Fernández CR, Bonadiman M. Simulações da SAR na cabeça e antenas planares para telefones móveis. *Rev Bras Eng BIOMÉDICA*. 2003;19(2):77–90.
 16. Salles ÁAA. Efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos. In: IV Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo- CBMag. Natal: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Norte; 2000.
 17. Bernhardt JH. Non-ionizing radiation safety: radiofrequency radiation, electric and magnetic fields. *Phys Med Biol*. 1992;37:807–44.
 18. Bronzino JD. *The biomedical engineering handbook*. New York: CRC Press; 1995.
 19. Foster KR, Chou C-K. Are Children More Exposed to Radio Frequency Energy From Mobile Phones Than Adults? *IEEE Access [Internet]*. 2014;2:1497–509. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6982034>
 20. Gandhi OP, Lazzi G, Furse CM. Electromagnetic absorption in the human head and neck for mobile telephones at 835 and 1900 MHz. *IEEE Trans Microw Theory Tech*. 1996;44(10 PART 2):1884–97.
 21. ONU O das NU. Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento [Internet]. Declaração Rio 92. 1992 [cited 2015 Sep 23]. Available from: <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>
 22. EUMED. Non-Ionizing Electromagnetic Radiation in the Radiofrequency Spectrum and its Effects on Human Health. 2010.
 23. TELECO. Newsletter [Internet]. 652, 674. 2015 [cited 2015 Oct 12]. Available from: <http://www.teleco.com.br/ncel.asp>
 24. TELECO. Newslettes [Internet]. 674. 2015 [cited 2015 Oct 12]. Available from: <http://www.teleco.com.br/ncel.asp>
 25. SEMURB SM de PU e MA. Plano Diretor da Cidade do Natal. 2007.
 26. ANATEL AN de T. Sistema de Controle de Radiofusão [Internet]. 2015. Available from: <http://www.anatel.gov.br/institucional/>
 27. VIVER NATAL B. Blog oficial da cidade do Natal (Secretarias de Comunicação e de Turismo) [Internet]. [cited 2015 Sep 20]. Available from: <https://vivernatal.wordpress.com/>
 28. BRASIL. Lei nº 11.934 de 5 de Maio de 2009. 2009.
 29. Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black WC. *Análise multivariada de dados*. São Paulo: Bookman; 2005.
 30. Rappaport TS. *Comunicações sem fio, princípios e prática*. 2nd ed. Prentice Hall; 2008.
 31. Magras IN, Xenos TD. RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics*. 1997;18:455–61.
 32. Wolf R, Wolf D. Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter

- station. *Int J Cancer* [Internet]. 2004;1(2):123–8. Available from: C:\Documents\Inand\InSettings\Annibale\Documenti\References\References\Wolf2004.pdf\nC:\Documents and Settings\Annibale\Documenti\References\References\Wolf2004.pdf
33. Belyaev IY, Shcheglov VS, Alipov YD. Selection Rules on Helicity during Discrete Transitions of the Genome Conformational State in Intact and X-Rayed Cells of E.Coli in Millimeter Range of Electromagnetic Field. In: *Charge and Field Effects in Biosystems—3* [Internet]. Boston, MA: Birkhäuser Boston; 1992. p. 115–26. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-9837-4_10
 34. Hocking B, Gordon IR, Grain HL, Hatfield GE. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Med J Aust* [Internet]. 1996;165(11-12):601–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8985435>
 35. Vian A, Roux D, Girard S, Bonnet P, Paladian F, Davies E, et al. Microwave irradiation affects gene expression in plants. *Plant Signal Behav* [Internet]. 2006;1(2):67–70. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2633881&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
 36. Friedman J, Kraus S, Hauptman Y, Schiff Y, Seger R. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochemical*. 2007;405(3):559–68.
 37. Agarwal A, Gupta S, Sharma RK. Role of oxidative stress in female reproduction. *Reprod Biol Endocrinol*. 2005;3:28.
 38. Grigoriev O, Bichelday E, Merkulov A. Antropogenic EMF Effects on the Condition and Function of Natural Ecosystems. *J Radiat Biol Radioecol*. 2003;43(544-551).
 39. Gordon Z, Rosein A, Byskov M. Main directions and results of research conducted in the USSR on the biologic effects of microwaves. *Biol Eff Heal Hazards Microw Radiat*. 1974;22–35.
 40. Semin IA, Shvartsburg LK, Dubovik B V. changes in the secondary structure of dna under the influence of an aexternal low-intensity. *Radiats Biol Radioecol*. 1995;35(1136-41).
 41. Garaj-Vrhovac V, Fucic A, D. H. The correlation between the frequency of micronuclei and specific aberrations in human lymphocytes exposed to microwave radiation in vitro. *Mutat Res*. 1992;281:181–6.
 42. Garaj-Vrhovac V, Horvat D, Koren Z. The relationship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 Chinese hamster cells exposed to microwave radiation. *Mutat Res Lett* [Internet]. 1991 Jul;263(3):143–9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0165799291900548>
 43. Pomerai D De, Daniells C. Microwave radiation induces a heat-shock response and enhances growth in the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Microw Theory Tech IEEE Trans* [Internet]. 2000;48(11):2076–81. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=884198>\n<http://ieeex>

plore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=884198

44. Sarkar S, Ali S, Behari J. Effect of low power microwave on the mouse genome: a direct DNA analysis. *Mutat Res [Internet]*. 1994;320(1-2):141–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7506381>
45. Grundler W, Keilmann F, Frolich H. Resonant growth rate response of yeast cells irradiated by weak microwaves. *Phys Lett A [Internet]*. 1977;62A(6):463–6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/037596017790696X>
46. Lai H, Singh NP. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Radiat Biol*. 1996;69(4):513–21.
47. Zhang M, He J, Jin L, Lu D. Study of low-intensity 2450-MHz microwave exposure enhancing the genotoxic effects of mitomycin C using micronucleus test and comet assay in vitro. *Biomed Environ Sci [Internet]*. 2002;15(4):283–90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12642984>
48. Busljeta I, Trosic I, Milkovic-Kraus S. Erythropoietic changes in rats after 2.45 GJz nonthermal irradiation. *Int J Hyg Environ Health*. 2004;207(6):549–54.
49. Trosic I. Multinucleated giant cell appearance after whole body microwave irradiation of rats. *Int J Hyg Environ Health [Internet]*. 2001;204(2-3):133–8. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463904700851>
50. Trosic I, Busljeta I, Modlic B. Investigation of the genotoxic effect of microwave irradiation in rat bone marrow cells: In vivo exposure. *Mutagenesis*. 2004;19(5):361–4.
51. Dwivedi RS, Dwivedi U, Chiang B. Low intensity microwave radiation effects on the ultrastructure of Chang liver cells. *Exp Cell Res [Internet]*. 1989;180(1):253–65. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=2909391
52. Szmigielski S, Luczak M, Wiranowska M. Effect Of Microwaves On Cell Function And Virus Replication In Cell Cultures Irradiated In Vitro. *Ann N Y Acad Sci [Internet]*. 1975 Feb;247(1 Biologic Effe):263–74. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1749-6632.1975.tb36001.x>
53. Baranski S, Ostrowski K, Stodolnik BW. Functional and morphological studies of the thyroid gland in animals exposed to microwave irradiation. *Acta Physiol Pol*. 1972;23:1029–39.
54. Zotti-Martelli L, Peccatori M, Scarpato R, Migliore L. Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation. *Mutat Res - Genet Toxicol Environ Mutagen*. 2000;472(1-2):51–8.
55. Zotti-Martelli L, Peccatori M, Maggini V, Ballardini M, Barale R. Individual responsiveness to induction of micronuclei in human lymphocytes after exposure in vitro to 1800-MHz microwave radiation. *Mutat Res [Internet]*. 2005;582(1-2):42–52. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15781209>

56. Mikolajczyk H. Hormone reactions and changes in endocrine glands under influence of microwaves. *Med Lotnicza*. 1972;39(39-51).
57. Garaj-Vrhovac V, Horvat D, Koren Z. The effect of microwave radiation on the cell genome. *Mutat Res*. 1990;243(2):87–93.
58. Agarwal A, Deepinder F, Sharma RK, Ranga G, Li J. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertil Steril* [Internet]. 2008;89(1):124–8. Available from: <http://www.fertstert.org/article/S0015028207003329/fulltext>
59. Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med* [Internet]. 2015 Aug 19;1–16. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/15368378.2015.1043557>
60. Avendaño C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA, Doncel GF. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertil Steril* [Internet]. 2012;97(1):39–45.e2. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0015028211026781>
61. Tkalec M, Stambuk A, Srut M, Malarić K, Klobučar GI V. Oxidative and genotoxic effects of 900 MHz electromagnetic fields in the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2013;90:7–12. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23352129>
62. Buckus R, Strukcinskiene B, Raistenskis J. The assessment of electromagnetic field radiation exposure for mobile phone users. *Vojn Pregl*. 2014;71(12):1138–43.
63. Abolfazl A, Gholamali J, Saeed N. The proposed mechanisms of radio frequency waves (RFWs) on nervous system functions impairment. *Comp Clin Path*. 2015;1–13.
64. Abreu JG, Alejo JLP, Rodríguez HH, Montano AGP, Carrillo LM. Evaluación neurovegetativa cardiovascular (“neuromega”) en personal expuesto a las radiaciones electromagnéticas (radiaciones no ionizantes). *Rev Cuba Med Mil*. 2006;35(3).
65. Lazo MAM. Tasa de absorción específica (SAR) de tejidos biológicos bajo distintas condiciones de exposición a radiaciones no ionizantes (RNI). Pontificia Universidad Católica Del Perú Facultad De Ciencias E Ingeniería; 2012.
66. Levit BB. Cell, towers, wireless convenience? Or environmental hazard. New Century Publishing; 2000. 57-58 p.

Obs. Parte das referências bibliográficas se refere às tabelas inseridas no Apêndice.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 - Resumo das Medições efetuadas

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER Total	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER Total
P1	Rua Antônio Henrique de Melo	WIFI	4,08E-02	7,10E-04	P11	Rua Bento Gonçalves	WIFI	3,92E-02	3,53E-03
		TV	5,88E-01				TV	6,17E-01	
		FM	1,58E-01				FM	6,65E-01	
		GSM/3G	8,58E-01				GSM/3G	7,70E-01	
P2	Rua Professor João Machado	WIFI	3,61E-02	3,53E-03	P12	Rua Largo Interventor Ubaldo Bezerra	WIFI	1,95E-01	5,04E-04
		TV	5,81E-01				TV	5,96E-01	
		FM	1,08E-01				FM	5,54E-02	
		GSM/3G	3,29E+00				GSM/3G	3,47E-01	
P3	Rua das Madresilas	WIFI	3,92E-02	5,04E-04	P13	Rua Alameda das Mansões	WIFI	3,31E-02	1,64E-03
		TV	6,13E-01				TV	5,74E-01	
		FM	1,84E-01				FM	4,62E-01	
		GSM/3G	3,39E-01				GSM/3G	4,22E-01	
P4	Rua Monte Sinai	WIFI	4,02E-02	6,03E-04	P14	R.U.UFRN	WIFI	3,63E-02	1,17E-03
		TV	5,37E-01				TV	5,39E-01	
		FM	1,60E-01				FM	6,64E-01	
		GSM/3G	5,49E-01				GSM/3G	1,38E+00	
P5	Marginal da Salgado Filho	WIFI	3,31E-02	1,17E-03	P15	R.U.UFRN	WIFI	3,61E-02	1,91E-03
		TV	5,89E-01				TV	7,82E-01	
		FM	6,78E-01				FM	7,44E-01	
		GSM/3G	6,17E-01				GSM/3G	8,83E-01	
P6	Avenida Senador Salgado Filho	WIFI	3,97E-02	1,63E-03	P16	Rua Jaguarari	WIFI	1,94E-01	1,63E-03
		TV	5,49E-01				TV	6,15E-01	
		FM	6,03E-01				FM	3,05E-01	
		GSM/3G	1,58E+00				GSM/3G	6,80E-01	
P7	Avenida Antônio Basílio	WIFI	4,07E-02	5,63E-04	P17	Rua Antônio Basílio	WIFI	1,95E-01	8,08E-04
		TV	1,64E+00				TV	8,20E-01	
		FM	1,02E-01				FM	1,30E-01	
		GSM/3G	6,31E-01				GSM/3G	8,51E-01	
P8	Avenida Antônio Basílio	WIFI	4,07E-02	8,08E-04	P18	Rua Djalma Maranhão	WIFI	2,08E-01	1,82E-03
		TV	2,09E+00				TV	6,15E-01	
		FM	2,27E-01				FM	1,93E-01	
		GSM/3G	9,34E-01				GSM/3G	5,42E-01	
P9	Rua Professor Antônio Campos	WIFI	3,31E-02	1,53E-03	P19	Avenida Nascimento de Castro	WIFI	1,95E-01	1,53E-03
		TV	1,07E+00				TV	9,93E-01	
		FM	6,49E-02				FM	1,17E-01	
		GSM/3G	4,88E-01				GSM/3G	2,23E-01	
P10	Avenida Xavier da Silveira	WIFI	3,77E-02	2,66E-03	P20	Avenida Senador Salgado Filho	WIFI	2,12E-01	1,68E-03
		TV	1,28E+00				TV	1,46E+00	
		FM	5,94E-01				FM	1,21E-01	
		GSM/3G	6,34E-01				GSM/3G	2,20E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER Total	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER Total
P21	Marg.daAv.João Medeiros	WIFI	4,77E-02	6,52E-04	P31	Avenida Engenheiro Roberto Freire	WIFI	2,07E-01	4,59E-04
		TV	6,79E-01				TV	3,36E-01	
		FM	1,22E-01				FM	1,72E-01	
		GSM/3G	2,11E-01				GSM/3G	3,92E-01	
P22	Morro do Tirol	WIFI	4,08E-02	5,52E-02	P32	Avenida Engenheiro Roberto Freire	WIFI	2,24E-01	1,84E-04
		TV	6,43E+00				TV	2,92E-01	
		FM	1,12E+00				FM	1,27E-01	
		GSM/3G	4,97E-01				GSM/3G	2,46E-01	
P23	Avenida H. da Fonseca	WIFI	3,72E-02	3,44E-02	P33	Avenida Engenheiro Roberto Freire	WIFI	1,98E-01	3,44E-04
		TV	5,03E+00				TV	2,47E-01	
		FM	9,68E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	7,87E-01				GSM/3G	2,38E-01	
P24	Rua Ver. João da Silva Filho	WIFI	3,74E-02	3,43E-03	P34	Rua Vereador Manuel Coringa de lemos	WIFI	2,01E-01	1,37E-04
		TV	1,09E+00				TV	2,19E-01	
		FM	1,19E+00				FM	1,16E-01	
		GSM/3G	2,35E-01				GSM/3G	3,87E-01	
P25	Avenida Prudente de Moraes	WIFI	3,80E-02	4,72E-03	P35	Avenida Engenheiro Roberto Freire	WIFI	2,01E-01	3,73E-04
		TV	1,91E+00				TV	2,27E-01	
		FM	1,25E-01				FM	1,26E-01	
		GSM/3G	3,77E-01				GSM/3G	7,18E-01	
P26	Rua Cel. Joaquim Manuel	WIFI	4,44E-02	5,62E-04	P36	Avenida Dinarte Mariz	WIFI	2,09E-01	4,60E-04
		TV	6,19E-01				TV	4,21E-01	
		FM	2,84E-01				FM	1,23E-01	
		GSM/3G	1,34E+00				GSM/3G	3,80E-01	
P27	Avenida Nilo Peçanha	WIFI	3,82E-02	4,58E-04	P37	Morro do careca (Final do calçadão)	WIFI	1,96E-01	4,89E-04
		TV	5,49E-01				TV	2,13E-01	
		FM	1,45E-01				FM	1,23E-01	
		GSM/3G	3,04E-01				GSM/3G	5,34E-01	
P28	Avenida do Sol	WIFI	4,40E-02	6,34E-04	P38	Início do calçadão - Ponta Negra	WIFI	1,99E-01	4,30E-04
		TV	6,63E-01				TV	2,46E-01	
		FM	8,41E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,52E-01				GSM/3G	4,08E-01	
P29	Avenida Senador Salgado Filho	WIFI	3,80E-02	7,44E-03	P39	Rua Antônio Madruga	WIFI	1,97E-01	5,19E-04
		TV	2,40E+00				TV	4,36E-01	
		FM	1,57E-01				FM	1,43E-01	
		GSM/3G	7,28E-01				GSM/3G	6,63E-01	
P30	Rua Henri Koster	WIFI	3,96E-02	4,13E-02	P40	Estádio Frasqueirão - P.Negra	WIFI	2,08E-01	5,10E-04
		TV	5,68E+00				TV	2,23E-01	
		FM	8,61E-01				FM	1,20E-01	
		GSM/3G	3,37E-01				GSM/3G	5,14E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL
P41	Via Costeira	WIFI	1,98E-01	3,79E-04	P51	Rua Olinto Meira	WIFI	2,05E-01	3,91E-04
		TV	5,00E-01				TV	5,04E-01	
		FM	1,18E-01				FM	1,19E-01	
		GSM/3G	2,16E-01				GSM/3G	2,14E-01	
P42	Via Costeira	WIFI	2,05E-01	4,39E-04	P52	Avenida Romualdo Galvão	WIFI	1,95E-01	2,06E-03
		TV	5,43E-01				TV	1,25E+00	
		FM	1,20E-01				FM	1,16E-01	
		GSM/3G	2,17E-01				GSM/3G	2,67E-01	
P43	Avenida Praia de Muriu	WIFI	1,99E-01	1,37E-04	P53	Avenida Prudente de Moraes	WIFI	2,02E-01	9,59E-04
		TV	2,45E-01				TV	8,10E-01	
		FM	1,18E-01				FM	1,17E-01	
		GSM/3G	2,12E-01				GSM/3G	2,12E-01	
P44	Rua Praia de Itamaraca	WIFI	2,05E-01	3,90E-04	P54	Avenida Presidente Bandeira	WIFI	1,95E-01	2,81E-02
		TV	2,21E-01				TV	4,68E+00	
		FM	1,17E-01				FM	1,13E-01	
		GSM/3G	2,16E-01				GSM/3G	2,11E-01	
P45	Via Costeira	WIFI	1,97E-01	3,27E-03	P55	Avenida Alm. Alexandrino de Alencar	WIFI	1,99E-01	2,01E-03
		TV	1,59E+00				TV	1,22E+00	
		FM	1,18E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,16E-01				GSM/3G	2,12E-01	
P46	Praia do Meio	WIFI	2,03E-01	9,43E-03	P56	Avenida Alberto Maranhão	WIFI	1,97E-01	2,81E-02
		TV	2,71E+00				TV	4,68E+00	
		FM	1,18E-01				FM	1,16E-01	
		GSM/3G	2,10E-01				GSM/3G	2,12E-01	
P47	Rua Carapeba	WIFI	2,13E-01	4,22E-04	P57	Rua Trairi	WIFI	2,03E-01	5,42E-04
		TV	5,26E-01				TV	5,71E-01	
		FM	1,24E-01				FM	1,21E-01	
		GSM/3G	2,30E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P48	Rua Praia de Itamaraca	WIFI	1,95E-01	3,62E-04	P58	Rua Antônio Carolino	WIFI	1,99E-01	4,53E-04
		TV	2,22E-01				TV	4,98E-01	
		FM	1,15E-01				FM	1,21E-01	
		GSM/3G	2,15E-01				GSM/3G	2,23E-01	
P49	Meio do calçadão P. Negra	WIFI	2,01E-01	3,77E-04	P59	Rua Santa Cristina	WIFI	2,10E-01	3,81E-04
		TV	2,19E-01				TV	4,51E-01	
		FM	1,16E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,21E-01				GSM/3G	2,10E-01	
P50	Rua dos Canindés	WIFI	1,96E-01	1,13E-03	P60	Avenida Duque de Caxias	WIFI	1,96E-01	1,98E-03
		TV	9,15E-01				TV	1,21E+00	
		FM	1,15E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,16E-01				GSM/3G	2,10E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER Total	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER Total
P61	Rua Dr. Barata	WIFI	2,02E-01	3,51E-03	P71	Av. Cap-mor. Gouveia	WIFI	2,14E-01	7,98E-04
		TV	1,64E+00				TV	7,54E-01	
		FM	1,18E-01				FM	1,26E-01	
		GSM/3G	2,15E-01				GSM/3G	2,43E-01	
P62	Rua Santa Cristina	WIFI	2,05E-01	3,95E-04	P72	Av. Miguel Castro	WIFI	2,05E-01	8,53E-04
		TV	5,06E-01				TV	7,87E-01	
		FM	1,19E-01				FM	1,20E-01	
		GSM/3G	2,21E-01				GSM/3G	2,17E-01	
P63	Avenida Perimetral Leste	WIFI	0,00E+00	4,14E-04	P73	Av. Bernado Vieira	WIFI	2,00E-01	1,83E-03
		TV	4,90E-01				TV	1,13E+00	
		FM	1,22E-01				FM	1,68E-01	
		GSM/3G	3,93E-01				GSM/3G	4,89E-01	
P64	Rua Nossa Senhora do Livramento	WIFI	2,02E-01	2,88E-04	P74	Av. Bernado Vieira	WIFI	2,05E-01	9,29E-04
		TV	4,37E-01				TV	7,81E-01	
		FM	1,20E-01				FM	1,35E-01	
		GSM/3G	1,17E-01				GSM/3G	4,50E-01	
P65	Rua João C. de Sousa	WIFI	1,96E-01	3,65E-04	P75	Av. Bernado Vieira	WIFI	1,94E-01	5,23E-04
		TV	4,88E-01				TV	6,01E-01	
		FM	1,20E-01				FM	1,22E-01	
		GSM/3G	2,12E-01				GSM/3G	2,12E-01	
P66	Rua Chile	WIFI	2,03E-01	3,86E-04	P76	Av. Cap-mor. Gouveia	WIFI	1,95E-01	8,54E-04
		TV	4,96E-01				TV	5,73E-01	
		FM	1,18E-01				FM	4,27E-01	
		GSM/3G	2,15E-01				GSM/3G	3,95E-01	
P67	Rua Miramar	WIFI	1,97E-01	4,14E-04	P77	Av. Cap-mor. Gouveia X Km6	WIFI	2,00E-01	4,05E-04
		TV	5,27E-01				TV	5,20E-01	
		FM	1,17E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,12E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P68	Rua Santo Antônio	WIFI	2,00E-01	3,80E-04	P78	Rua Conego Monte	WIFI	1,99E-01	7,52E-04
		TV	5,15E-01				TV	7,00E-01	
		FM	1,18E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,11E-01				GSM/3G	4,18E-01	
P69	Avenida Deodoro da Fonseca	WIFI	1,99E-01	8,28E-04	P79	Rua dos Caicós	WIFI	2,09E-01	7,70E-04
		TV	6,92E-01				TV	7,42E-01	
		FM	2,31E-01				FM	1,21E-01	
		GSM/3G	4,54E-01				GSM/3G	2,36E-01	
P70	Rua São José	WIFI	2,02E-01	1,06E-03	P80	Av. São Luiz	WIFI	2,02E-01	3,82E-04
		TV	8,81E-01				TV	5,01E-01	
		FM	1,30E-01				FM	1,16E-01	
		GSM/3G	2,26E-01				GSM/3G	2,23E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL
P81	Nordestão ZN	WIFI	1,94E-01	2,94E-04	P91	Av. Jaguarari	WIFI	2,02E-01	5,74E-04
		TV	4,45E-01				TV	6,34E-01	
		FM	1,18E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,13E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P82	SUVAG-RN	WIFI	2,01E-01	4,78E-04	P92	Av. Deodoro	WIFI	1,92E-01	1,49E-03
		TV	5,88E-01				TV	1,06E+00	
		FM	1,22E-01				FM	1,13E-01	
		GSM/3G	1,21E-01				GSM/3G	2,07E-01	
P83	NordestãoS.Catarina	WIFI	1,95E-01	3,46E-04	P93	Rua Padre Estanilau	WIFI	1,95E-01	7,44E-04
		TV	4,84E-01				TV	5,58E-01	
		FM	1,18E-01				FM	3,68E-01	
		GSM/3G	2,21E-01				GSM/3G	3,94E-01	
P84	Av Rio Branco 699	WIFI	1,97E-01	4,85E-04	P94	Av. do Sol	WIFI	2,04E-01	4,39E-04
		TV	5,67E-01				TV	5,44E-01	
		FM	1,53E-01				FM	1,17E-01	
		GSM/3G	3,43E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P85	Rua Marques de Tamandaré	WIFI	2,08E-01	1,21E-03	P95	Av. Tomas Landim 137	WIFI	1,90E-01	4,30E-04
		TV	9,55E-01				TV	5,05E-01	
		FM	1,21E-01				FM	1,88E-01	
		GSM/3G	2,43E-01				GSM/3G	2,31E-01	
P86	Av. da Integração	WIFI	1,86E-01	4,03E-04	P96	Rua Henrique Coimbra	WIFI	1,97E-01	5,30E-04
		TV	5,33E-01				TV	6,07E-01	
		FM	1,15E-01				FM	1,19E-01	
		GSM/3G	2,15E-01				GSM/3G	2,08E-01	
P87	Rua Eng. Luciano L. de Barros	WIFI	2,01E-01	4,55E-04	P97	Rua Governador José Varela	WIFI	2,08E-01	4,19E-04
		TV	5,66E-01				TV	5,19E-01	
		FM	1,14E-01				FM	1,37E-01	
		GSM/3G	2,56E-01				GSM/3G	2,33E-01	
P88	Av. Libânia Galvão Pereira	WIFI	1,94E-01	1,11E-03	P98	Prolong.Prud. Morais	WIFI	1,97E-01	4,43E-04
		TV	7,09E-01				TV	4,60E-01	
		FM	5,22E-01				FM	1,99E-01	
		GSM/3G	5,78E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P89	Rua Alamandra	WIFI	2,00E-01	4,32E-04	P99	Rua Rio Gramami	WIFI	2,00E-01	4,41E-04
		TV	5,53E-01				TV	4,17E-01	
		FM	1,17E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,22E-01				GSM/3G	2,14E-01	
P90	Cruz. Av. Integração e Jaguarari	WIFI	1,95E-01	6,22E-04	P100	Prolong.Prud. Morais	WIFI	1,95E-01	3,55E-04
		TV	5,89E-01				TV	4,31E-01	
		FM	3,07E-01				FM	1,14E-01	
		GSM/3G	3,55E-01				GSM/3G	2,10E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL
P101	Prolong. Prud. de Morais	WIFI	1,94E-01	3,78E-03	P111	Av. Paulista	WIFI	2,02E-01	4,34E-04
		TV	4,45E-01				TV	6,34E-01	
		FM	1,18E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,13E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P102	Rua do Falcão	WIFI	2,01E-01	2,56E-04	P112	Av. Dr. João Medeiros Filho	WIFI	1,92E-01	4,08E-04
		TV	5,88E-01				TV	1,06E+00	
		FM	1,22E-01				FM	1,13E-01	
		GSM/3G	1,21E-01				GSM/3G	2,07E-01	
P103	Rua Rio Paranapanema	WIFI	1,95E-01	3,75E-04	P113	Av. Bahia, Potengi	WIFI	1,95E-01	3,66E-04
		TV	4,84E-01				TV	5,58E-01	
		FM	1,18E-01				FM	3,68E-01	
		GSM/3G	2,21E-01				GSM/3G	3,94E-01	
P104	Av. Cidade do Sol	WIFI	1,97E-01	3,64E-04	P114	Av. Tomas Landim, Igapó	WIFI	2,04E-01	3,50E-04
		TV	5,67E-01				TV	5,44E-01	
		FM	1,53E-01				FM	1,17E-01	
		GSM/3G	3,43E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P105	Rua Perdizes	WIFI	2,08E-01	3,94E-04	P115	Av. Bom Jesús, Igapó	WIFI	1,90E-01	3,62E-04
		TV	9,55E-01				TV	5,05E-01	
		FM	1,21E-01				FM	1,88E-01	
		GSM/3G	2,43E-01				GSM/3G	2,31E-01	
P106	Rua Raimundo Correia	WIFI	1,86E-01	3,54E-04	P116	Av. Pedro Álvares Cabral	WIFI	1,97E-01	3,91E-04
		TV	5,33E-01				TV	6,07E-01	
		FM	1,15E-01				FM	1,19E-01	
		GSM/3G	2,15E-01				GSM/3G	2,08E-01	
P107	Av. Ayrton Senna	WIFI	2,01E-01	4,04E-04	P117	Rodovia BR 101	WIFI	2,08E-01	7,36E-04
		TV	5,66E-01				TV	5,19E-01	
		FM	1,14E-01				FM	1,37E-01	
		GSM/3G	2,56E-01				GSM/3G	2,33E-01	
P108	Av. Ayrton Senna	WIFI	1,94E-01	4,24E-04	P118	Rodovia BR 101	WIFI	1,97E-01	7,00E-04
		TV	7,09E-01				TV	4,60E-01	
		FM	5,22E-01				FM	1,99E-01	
		GSM/3G	5,78E-01				GSM/3G	2,16E-01	
P109	Av. Ayrton Senna	WIFI	2,00E-01	3,97E-04	P119	Av. Campos Sales	WIFI	2,00E-01	1,21E-03
		TV	5,53E-01				TV	4,17E-01	
		FM	1,17E-01				FM	1,18E-01	
		GSM/3G	2,22E-01				GSM/3G	2,14E-01	
P110	Av. Dr. Jose Medeiros Filho	WIFI	1,95E-01	3,52E-04	P120	Rua Brasília	WIFI	1,95E-01	4,13E-04
		TV	5,89E-01				TV	4,31E-01	
		FM	3,07E-01				FM	1,14E-01	
		GSM/3G	3,55E-01				GSM/3G	2,10E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL
P121	Rua Florestal 29	WIFI	1,14E-01	1,10E-02	P131	Av. Cid.Praia Lote 18 QDC	WIFI	1,14E-01	8,27E-04
		TV	8,72E-01				TV	4,46E-01	
		FM	2,93E-01				FM	4,87E-01	
		GSM/3G	4,39E+00				GSM/3G	4,70E-01	
P122	Rua Glicério Cícero 56,	WIFI	1,92E-01	1,75E-03	P132	Rua Sachet	WIFI	1,64E-01	1,66E-03
		TV	1,08E+00				TV	5,21E-01	
		FM	3,52E-01				FM	5,34E-01	
		GSM/3G	2,06E-01				GSM/3G	1,22E+00	
P123	Av.Rio Branco 550	WIFI	2,04E-01	1,34E-03	P133	Rua Serra do Araguaia 1129	WIFI	1,02E-01	1,41E-03
		TV	4,39E-01				TV	4,49E-01	
		FM	1,18E-01				FM	7,49E-01	
		GSM/3G	1,38E+00				GSM/3G	3,90E-01	
P124	Rua N.Laureano	WIFI	2,04E-01	6,08E-03	P134	SubLote 09.Desmembr. do Lote 1	WIFI	9,50E-02	2,18E-03
		TV	5,21E-01				TV	3,99E-01	
		FM	1,17E-01				FM	5,90E-01	
		GSM/3G	3,32E+00				GSM/3G	1,59E+00	
P125	Rua Castelo Branco 374	WIFI	1,90E-01	1,00E-03	P135	Rua N.S.de Lourdes	WIFI	2,64E-01	3,85E-03
		TV	4,76E-01				TV	1,49E+00	
		FM	1,88E-01				FM	5,34E-01	
		GSM/3G	1,11E+00				GSM/3G	9,60E-01	
P126	Rua Cícero Bucha S/N	WIFI	1,97E-01	9,47E-04	P136	Rua Ciro Monteiro	WIFI	8,62E-02	1,24E-02
		TV	4,60E-01				TV	2,51E+00	
		FM	3,40E-01				FM	1,28E+00	
		GSM/3G	9,02E-01				GSM/3G	1,57E+00	
P127	Av. Eng. R. Freire H.B.Preço	WIFI	2,08E-01	5,61E-03	P137	Rua Genar Wanderley S/N	WIFI	1,64E-01	3,42E-03
		TV	4,91E-01				TV	6,45E-01	
		FM	1,37E-01				FM	9,34E-01	
		GSM/3G	3,19E+00				GSM/3G	1,54E+00	
P128	Rua Raposo Câmara 3842	WIFI	1,97E-01	4,67E-03	P138	Rua Dr.Poty Nóbrega 1994	WIFI	1,97E-01	7,67E-02
		TV	5,35E-01				TV	2,42E+00	
		FM	3,52E-01				FM	2,49E+00	
		GSM/3G	3,19E+00				GSM/3G	1,06E+01	
P129	Rua Afrânio Peixoto,980	WIFI	1,42E-02	2,53E-03	P139	Rua Santa Verônica	WIFI	9,86E-02	2,50E-03
		TV	1,19E+00				TV	4,51E-01	
		FM	2,52E-01				FM	5,51E-01	
		GSM/3G	1,08E+00				GSM/3G	1,79E+00	
P130	Rua Baieux/Rua Mpatos	WIFI	1,95E-01	1,05E-03	P140	Rua dos Coqueiros	WIFI	9,51E-02	1,86E-03
		TV	5,69E-01				TV	4,50E-01	
		FM	3,89E-01				FM	8,34E-01	
		GSM/3G	8,10E-01				GSM/3G	7,30E-01	

Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL	Ponto	Localização	Serviço	RMS [V/m]	ER TOTAL
P141	Av. Senador Dinarte Mariz	WIFI	9,51E-02	1,85E-02	P151	Rua Alagamar, Redinha	WIFI	9,86E-02	2,94E-04
		TV	4,50E-01				TV	4,23E-01	
		FM	8,34E-01				FM	2,92E+00	
		GSM/3G	7,30E-01				GSM/3G	2,32E+00	
P142	Av. Senador Dinarte Mariz	WIFI	3,39E-01	1,65E-03	P152	Rua João Moura	WIFI	9,86E-02	4,78E-04
		TV	4,50E-01				TV	4,20E-01	
		FM	2,32E+00				FM	8,20E-01	
		GSM/3G	9,25E-01				GSM/3G	1,92E+00	
P143	Hotel Praia P. Negra	WIFI	9,86E-02	1,34E-03	P153	Rua Celso Martins	WIFI	1,64E-01	3,46E-04
		TV	4,20E-01				TV	4,71E-01	
		FM	2,52E+00				FM	2,52E+00	
		GSM/3G	8,10E-01				GSM/3G	8,10E-01	
P144	Rua Francisco Gurgel	WIFI	1,64E-01	6,08E-03	P154	Rua Rio Tinto	WIFI	3,39E-01	4,85E-04
		TV	5,21E-01				TV	2,92E+00	
		FM	5,34E-01				FM	2,52E+00	
		GSM/3G	1,22E+00				GSM/3G	8,10E-01	
P145	Rua Curimatã	WIFI	1,02E-01	1,00E-03	P155	Rua Capibaribe	WIFI	2,76E-01	1,21E-03
		TV	4,49E-01				TV	6,09E-01	
		FM	7,49E-01				FM	8,39E-01	
		GSM/3G	3,90E-01				GSM/3G	8,10E-01	
P146	Av. Praia de Pirangi	WIFI	1,64E-01	1,25E-03	P156	Rua P. Jacob	WIFI	1,64E-01	4,03E-04
		TV	9,34E-01				TV	3,78E-01	
		FM	8,20E-01				FM	2,52E+00	
		GSM/3G	8,10E-01				GSM/3G	9,34E-01	
P147	Travessa da Floresta	WIFI	9,86E-02	5,61E-03	P157	Rua Vigário Bartilomeu	WIFI	2,76E-01	4,55E-04
		TV	6,45E-01				TV	6,89E-01	
		FM	9,34E-01				FM	3,78E-01	
		GSM/3G	1,54E+00				GSM/3G	7,88E-01	
P148	Av. Senador Dinarte Mariz	WIFI	1,64E-01	4,67E-03	P158	Rua das Mangabeiras	WIFI	2,76E-01	1,11E-03
		TV	6,45E-01				TV	4,78E-01	
		FM	9,34E-01				FM	2,52E+00	
		GSM/3G	1,54E+00				GSM/3G	8,40E-01	
P149	AV. Silvio Pedroza	WIFI	2,36E-01	2,53E-03	P159	Rua. Praia de Pitangui	WIFI	2,76E-01	4,32E-04
		TV	7,88E-01				TV	3,26E-01	
		FM	9,34E-01				FM	1,04E+00	
		GSM/3G	1,54E+00				GSM/3G	9,34E-01	
P150	Av. Nilo Peçanha	WIFI	2,86E-01	8,05E-03	P160	Passo da Pátria	WIFI	2,76E-01	6,22E-04
		TV	5,77E-01				TV	4,68E-01	
		FM	2,07E+00				FM	1,52E+00	
		GSM/3G	1,58E+00				GSM/3G	8,40E-01	

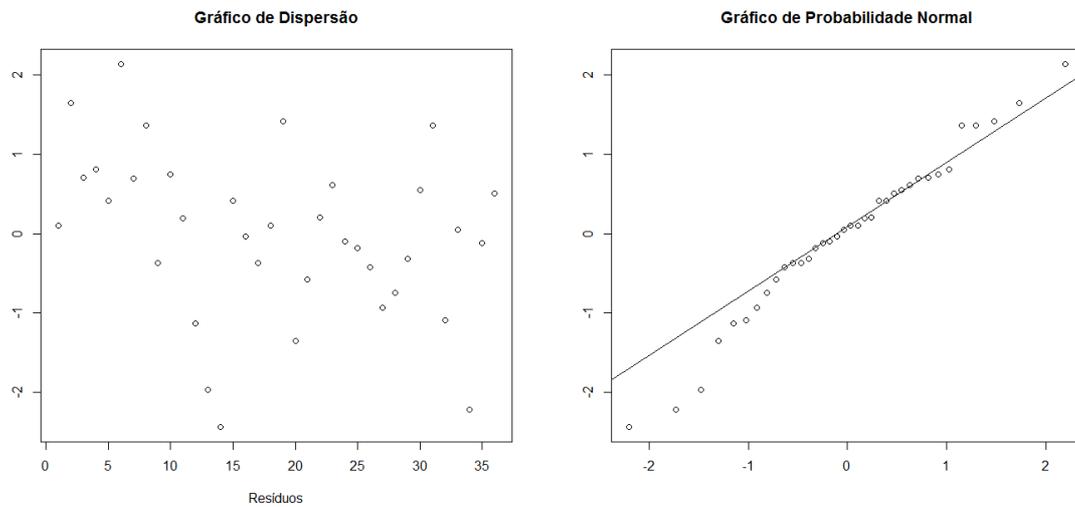
APÊNDICE 2 - Resumo de Testes Estatísticos (Exemplos)

Obs. $Y=n/2$

Tabela 15 - Resumo da Análise de alternativas para Área 1 (Exemplo)

Modelo	y	Modelo	Estimativa	Valor p	Multicolinearidade	Normalidade
1	y=1.3	B0	0.177018	<0.01	Sim	Sim
		B1	1.483785	<0.01		
		B2	0.386896	<0.01		
		B3	0			
		R2	0.9986			
2	y=1.3	B0	0.177018	<0.01	Não	Sim
		B1	1.483785	<0.01		
		B2	0.386896	<0.01		
		R2	0.9986			
3	y=1.3	B0	0.184022	<0,01	-	Não
		B1	1.792424	<0,01		
		R2	0.9862			

Figura 28 – Análise Residual | Área 1 (Exemplo)

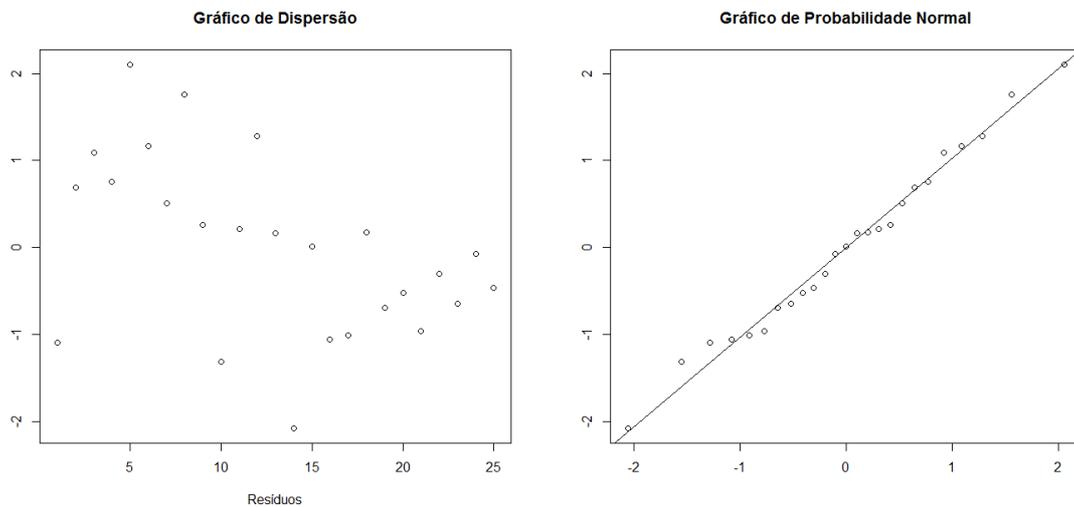


Obs. $Y=n/2$

Tabela 16 - Resumo da Análise de alternativas para Área 2 (Exemplo)

Modelo	y	Modelo	Estimativa	Valor p	Multicolinearidade	Normalidade
1	y=1.7	B0	0.132278	<0.01	Não	Sim
		B1	0.971404	<0.01		
		B2	0.509493	<0.01		
		B3	0.427982	<0.01		
		R2	0.9987			
2	y=1.7	B0	0.17109	<0.01	Não	Não
		B1	108.446	<0.01		
		B3	0.39063	<0.01		
		R2	0.9895			
3	y=1.7	B0	0.17455	<0,01	-	Sim
		B1	160.852	<0,01		
		R2	0.9458			

Figura 29 - Análise Residual | Área 2 (Exemplo)



Obs. $Y=n/2$

Tabela 17 - Resumo da Análise de alternativas para Área 3 (Exemplo)

Modelo	y	Modelo	Estimativa	Valor p	Multicolinearidade	Normalidade
1	y=1.9	B0	0.02993	<0.01	Sim	Sim
		B1	219.881	0.0547		
		B2	0.04403	0.7192		
		B3	-0.36306	0.7352		
		R2	0.9975			
2	y=1.9	B0	0.029763	<0.01	Sim	Não
		B1	1.833.938	<0.01		
		B2	0.081867	0.103		
		R2	0.9975			
3	y=1.9	B0	0.0279536	<0,01	-	Sim
		B1	20.840.471	<0,01		
		R2	0.9971			

Figura 30 - Análise Residual | Área 3 (Exemplo)

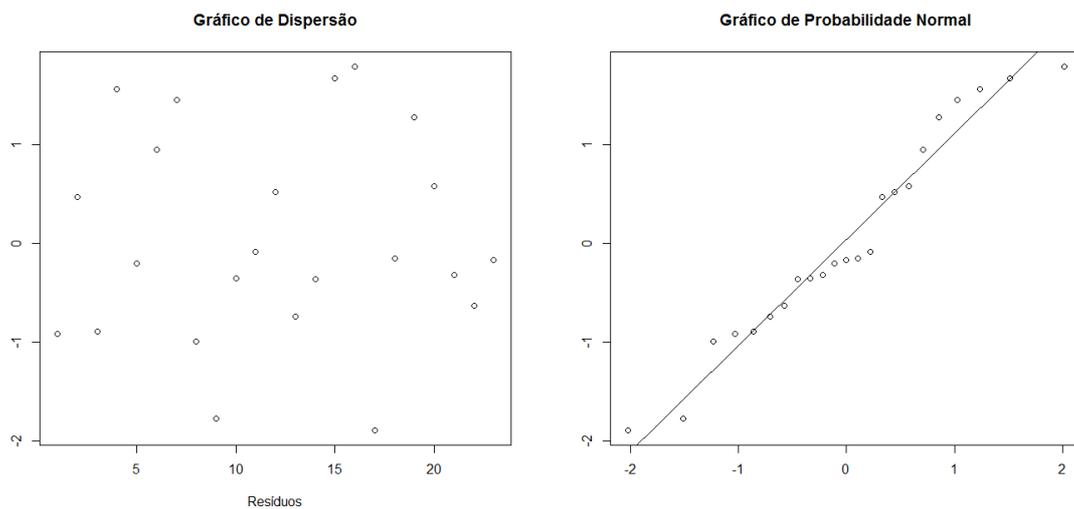
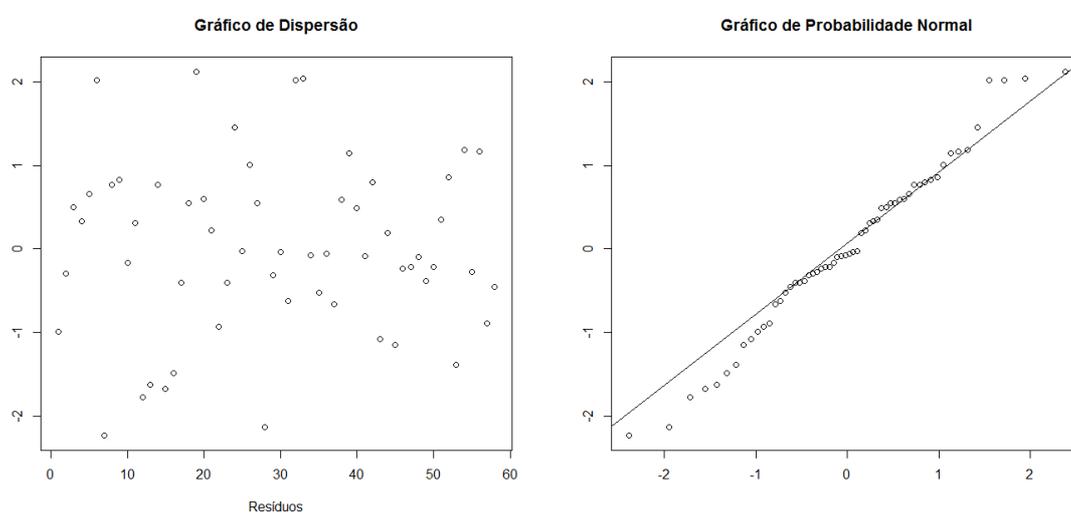


Tabela 18 - Resumo da Análise de alternativas para Área 4 (Exemplo)

Modelo	y	Modelo	Estimativa	Valor p	Multicolinearidade	Normalidade
1	y=1.5	B0	0.173127	<0.01	Sim	Sim
		B1	1.481.358	<0.01		
		B2	0.375473	<0.01		
		B3	0.412483	0.0105		
		R2	0.9984			
2	y=1.5	B0	0.179121	<0.01	Não	Sim
		B1	1.732.720	<0.01		
		B2	0.374261	<0.01		
		R2	0.9983			
3	y=1.5	B0	0.278603	<0,01	-	Não
		B2	0.650316	<0,01		
		R2	0.9234			

Figura 31 - Análise Residual | Área 3 (Exemplo)



APÊNDICE 3 - Resumo de Pesquisas sobre Exposição à RNI

Tabela 19 - Resumo de Pesquisas sobre efeitos da exposição à RNI

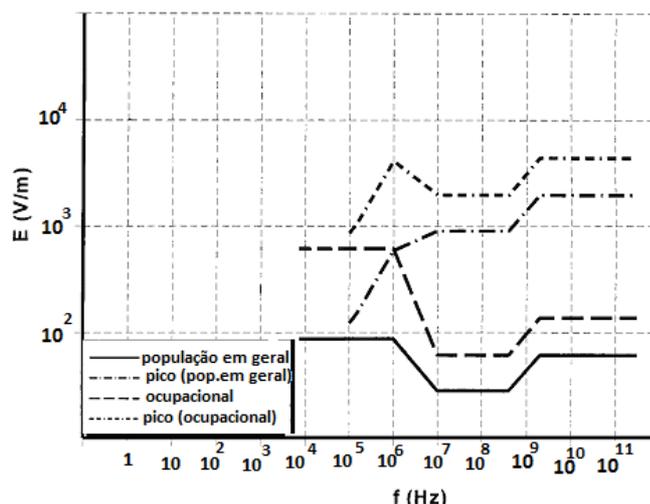
Frequência (MHz)	Densidade Eletromagnética ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	Efeito Observado	Referência
900	0,2	Infertilidade em camundongos	Magras e Xenos(31)
850	1	Aumento da Incidência de câncer humano	Wolf e Wolf (32)
4.125	1	Alteração do genoma de células	Belyav et al (33)
200	1	Aumento da Incidência de câncer humano	Hocking et al(34)
900	4	Efeito sobre a expressão gênica das plantas	Vian et al (35)
875	5	Produção de Enzima ERK que estimula a divisão celular, em células humanas e de ratos.	Friedman et al (36)
850	40	Estresse Oxidativo, redução da viabilidade e motilidade de espermatozoides humanos in vitro.	Agarwal et al(37)
400	130	Aumento de células com aberrações cromossômicas em plantas.	Grigoriev et. al(38)
2.500	250	Decréscimo da fecundidade em camundongos	Gordon et al (39)
4.000	400	Danos em amostras de DNA	Semin et al (40)
7.700	500	Aberrações cromossômicas em amostras de sangue humano	Garaj-Vrhovac et al (41)
7.700	500	Aberrações cromossômicas em células de Hamster	Garaj-Vrhovac et. al(42)
1.200	500	Aberrações cromossômicas em amostras em sementes de alface	Grigoriev et. al(38)
750	537	Resposta de choque térmico em nematoides <i>Caenorhabditis Elegans</i>	De Pomerai et.al. (43)
2.450	1.000	Alterações no DNA dos testículos e cérebros dos camundongos	Sarkar et al (44)
4.200	1.100	Alteração no crescimento de cultura da levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Grundler et. al (45)
2.450	2.000	Quebras em moléculas de cérebros de ratos.	Lai e Singh (46)
2.450	5.000	Dano em DNA e cromossomos em células de sangue humano.	Zhang et al (47)
2.450	5.000	Alterações no sangue de ratos (eritrócito, hemoglobina e heamatócrito)	Busljeta et al (48)
2.450	5.000	Aumento de células multinucleadas gigantes em ratos	Trosic(49)
2.450	5.000	Aumento de micronúcleos produzidos por dano ao DNA em ratos	Trosic et al (50)
2.450	5.000	Alterações na estrutura de células animais	Dwivedi et al(51)
3.000	5.000	Aumento na multiplicação de culturas de Myxovirus	Szmigielski et al (52)
3.000	5.000	Câncer em coelhos	Baranski et al(53)
2.450	10.000	Indução de micronúcleos em células de sangue humano	Zotti-Martelli et al(54)
1.800	10.000	Indução de micronúcleos em células de sangue humano	Zotti-Martelli et al (55)

3.000	10.000	Alterações hormonais em ratos	Mikolajczyk et al (56)
7.700	30.000	Alterações na síntese e estrutura de DNA	Garaj-Vrhovac et al(57)
900Mhz.	0,01-0,1 mW / cm ² (em modo de falar) e 1-40 mW / cm ² (2,5cm da antena do telefone)	Ondas de RF emitidas a partir de telefones celulares no bolso podem levar ao estresse oxidativo em sêmen humano.	Agarwal et al (58)
900Mhz	0,25 mW / cm ²	Alterações oxidativas em embriões de codorna.	Yakymenko et al (59)
0,5 MHz -3 GHz	0.001-2,000 mW / cm ²	Especulação que mantendo um laptop conectado sem fio à internet no colo perto dos testículos pode resultar em diminuição da fertilidade masculina	Avendaño, et al (60)
900MHz	0.3, 1.4, 4.2 e 38.2 W/ m ²	Lesões no DNA e estresse oxidativo em minhocas eiseniafetida	Tkalec, et al (61)
900/1800MHz	3 – 14V/m	Comprovação que a Intensidade da Radiação depende de: classe de telefone móvel, área urbana ou rural, exterior ou interior, em movimento ou posição imóvel, e da distância do telefone móvel do usuário do telefone.	Buckus,et al (62)
900/1800Mhz	1,00 W / kg (22cm – 44cm de distância do celular para o testículo)	Pesquisa com ratos: aumento significativo da apoptose em chamada, mas não na posição de espera, no tecido testicular. Verificado em ratos.	
900Mhz	0.6789 mW/ cm ²	A exposição a RNI diminuiu a atividade cerebral do rato em comparação com outro não exposto a radiação.	Abolfazl, et al (63)
500Hz e 900Hz		Não foi verificado mudança significativa no sistema cardiovascular (pressão arterial basal, diastólica, sistólica).	Abreu et al (64)
150MHz, 450MHZ, 1.8 GHz, 2.4GHz		Verificados diferentes parâmetros elétricos (condutividade, permissividade, VSWR) do tecido adiposo feminino e masculino para diferentes frequências.	Lazo(65)

ANEXOS

ANEXO 1- Limites de Exposição à RNI

Figura 32 - Gráfico oficial da ANATEL/ICNIRP com limites de exposição ocupacional à radiação não ionizante (Campo Elétrico) no Brasil (para pessoas que atuam próximos a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos em razão de seu trabalho)



Fonte: ANATEL (28)

Tabela 20 - Padrões Internacionais de exposição (densidade de potência) para radiação em RF (frequências de 800 a 900MHz)

Localização	Intensidade em microwatts/cm ²
Saltzberg (RF Pulsada)	0,1
Suíça	4,2
China	6,6
Rússia	10,0
Itália	10,0
Auckland (Nova Zelândia)	50,0
Estados Unidos	~580
Canadá	~580

Fonte: Levit(66)

Tabela 21 - Limites de Exposição à radiação não ionizante no Canadá (para trabalhadores atuantes na área) SafetyCode 6

Frequência (MHz)	Intensidade do Campo Elétrico rms (V/m)	Intensidade do Campo Magnético rms (A/m)	Densidade de Potência (W/m ²)	Tempo Médio (min)
0,003-1	600	4,9		6
1-10	600/f	4,9/f		6
10-30	60	4,9/f		6
30-300	60	0,163	10*	6
300-1.500	3,54f ^{0,5}	0,0094f ^{0,5}	f/300	6
1.500-15.000	137	0,364	50	6
15.000-150.000	137	0,364	616.000/f ^{1,2}	6
150.000-3000.000	0,354f ^{0,5}	9,4x10 ⁻⁴ f ^{0,5}	3,33x10 ⁻⁴ f	616.000/f ^{1,2}

* O limite de Densidade de Potência é aplicável para frequências maiores que 100 MHz. Notas: 1. Frequência, f, em MHz. 2. Densidade de potência de 10W/ m² é equivalente a 1 mW/cm². 3. A Intensidade de Campo Magnético em A/m corresponde a 1.257 microtesla (μT) or 12.57 miligauss (mG).

Fonte: *Environmental Health Directorate Health Protection Branch, 1999*

Tabela 22 - Limites de Exposição à radiação não ionizante no Canadá (para público em geral) SafetyCode 6 (

Frequência (MHz)	Intensidade do Campo Elétrico rms (V/m)	Intensidade do Campo Magnético rms (A/m)	Densidade de Potência (W/m ²)	Tempo Médio (min)
0,003-1	280	2,19		6
1-10	280/f	2,19/f		6
10-30	28	2,19/f		6
30-300	28	0,073	2*	6
300-1.500	1.585 f ^{0,5}	0,0042f ^{0,5}	f/150	6
1.500-15.000	61,4	0,163	10	6
15.000-150.000	61,4	0,163	10	616.000/f ^{1,2}
150.000-3000.000	0,158f ^{0,5}	4,21x10 ⁻⁴ f ^{0,5}	6,67x10 ⁻⁵ f	616.000/f ^{1,2}

* O limite de Densidade de Potência é aplicável para frequências maiores que 100 MHz. Notas: 1. Frequência, f, em MHz. 2. Densidade de potência de 10W/ m² é equivalente a 1 mW/cm². 3. A Intensidade de Campo Magnético em A/m corresponde a 1.257 microtesla (μT) or 12.57 miligauss (mG).

Fonte: *Environmental Health Directorate Health Protection Branch, 1999*

Tabela 23 -Limites de corrente de contato média induzida em diferentes tempos de exposição a campos na banda de 0,1 a 100 MHz para trabalhadores que atuam com micro-ondas e RF.

Tempo de exposição (min)	Corrente média de contato (rms) através de cada pé (mA)
6	100
5	110
4	123
3	141
2	173
1	245
0,5	346*

*Máxima corrente instantânea para tempo de exposição menor que 0,5 min é 350 mA.

Nota: Os limites acima podem não ser adequados para proteger em sobressaltos decorrentes do contato com objetos eletrificados (transientes de descargas elétricas /queimação).

Fonte: Legislação Canadense.