



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE DE RESIDÊNCIAS
VERTICAIS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

RODRIGO BARBOSA BRITO DIAS

JOÃO PESSOA

2018

RODRIGO BARBOSA BRITO DIAS

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE DE RESIDÊNCIAS
VERTICAIS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva

JOÃO PESSOA

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D541a Dias, Rodrigo Barbosa Brito.

Avaliação dos níveis de radiação não ionizante de residências verticais em áreas das regiões brasileiras / Rodrigo Barbosa Brito Dias. - João Pessoa, 2018.
126 f. : il.

Orientação: Luiz Bueno da Silva.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia de Produção. 2. Campos eletromagnéticos.
3. Radiação não ionizante (RNI). 4. Transformador de energia elétrica. 5. Morfologia urbana. 6. Ambiente doméstico - RNI. I. Silva, Luiz Bueno da. II. Título.

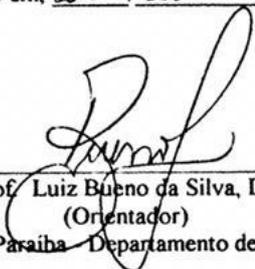
UFPB/BC

RODRIGO BARBOSA BRITO DIAS

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE DE RESIDÊNCIAS
VERTICAIS EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal da Paraíba.

Aprovado em, 28 / 10 / 2018

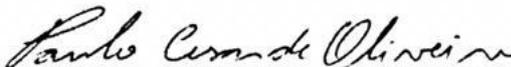


Prof. Luiz Bueno da Silva, Dr.
(Orientador)

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia de Produção

Prof. Ricardo Moreira da Silva, Dr.
(Examinador interno)

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia de Produção



Prof. Paulo César de Oliveira, Dr.
(Examinador externo)

Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Física

Prof. José Felício da Silva, Dr.
(Examinador externo)

UnB-Gama

RESUMO

Introdução: A radiação não ionizante (RNI) está cada vez mais presente no cotidiano da população. Diversos são os tipos de fontes emissoras de RNI que vão desde fontes móveis como aparelhos celulares à fontes fixas como transformadores de energia elétrica e linhas de transmissão. Associado ao conforto e bem-estar proporcionado pelos avanços tecnológicos surgem alguns problemas epidemiológicos devido a exposição à RNI de baixa frequência durante longos períodos de tempo. Consistentes estudos epidemiológicos associam o surgimento da leucemia infantil à exposição residencial a RNI, torna-se assim importante investigar quais os fatores responsáveis pela exposição do ambiente doméstico a elevados níveis de radiação não ionizante, levando em consideração às fontes emissoras de RNI internas à residência e as fontes externas ao ambiente domiciliar. **Objetivo:** Analisar os níveis de radiação não ionizante nos ambientes residenciais de edificações verticais em áreas das regiões brasileiras. **Metodologia:** As medições de RNI foram realizadas nos ambientes (quarto, sala, cozinha, sala-cozinha) residenciais adjacentes ou não a transformador de energia elétrica localizadas em bairros das cidades de João Pessoa, Teresina, Manaus, Brasília e de Joinville. Os níveis de intensidade de RNI na frequência de 60 Hz foram mensurados através do aparelho “Spectran NF-5035” localizado próximo à porta de entrada de cada ambiente durante um período de 24 horas. Posteriormente analisou-se o comportamento ao longo do tempo dos níveis de RNI através de distribuição probabilística, e comparações foram realizadas entre as medições de cada ambiente a partir de análises descritivas gráficas e através dos testes estatísticos Kruskal Wallis e Mann-Whitney, $\alpha=0,05$. Levando-se em consideração a potência do transformador de energia adjacente à residência e a proximidade entre os edifícios avaliou-se, através das bases de dados cartográficas das prefeituras municipais, o entorno de edificações cujos seus ambientes apresentaram níveis de radiação não ionizante elevados e/ou com oscilações em certo intervalo de tempo. Por fim, no sentido de verificar se nos bairros onde foram realizadas as medições há casos de leucemia infantil, levantou-se o número de ocorrência de leucemia infantil através Instituto Nacional do Câncer (INCA). **Resultados:** (1) O comportamento dos níveis de RNI nos ambientes seguiram a distribuição probabilística log-normal; (2) Os ambientes “cozinha” e “sala-cozinha” apresentaram níveis de intensidade de RNI elevados (entre 1,07 e 1,56 μT); (2) Os níveis de RNI (1,112 μT) no ambiente “sala” de uma residência no bairro Manaíra, João Pessoa, foram superiores aos demais ambientes; (3) Os níveis de RNI nos ambientes de uma edificação da cidade satélite Águas Claras, Brasília foram de 1,99 μT mas com oscilações em torno de 1 a 6 μT ; (4) Os níveis de RNI no ambiente quarto de uma edificação do bairro Aleixo, Manaus foram de 2 μT mas com oscilações em torno de 0,8 a 12 μT ; e (5) Nas cidades onde foram realizadas as medições de RNI registraram-se 77 casos de leucemia infantil em João Pessoa entre os anos 2005 e 2012; entre os anos 2005 e 2009 o número é de 148 em Manaus; entre os anos 2005 e 2006 registraram-se 52 casos em Brasília e 18 casos em Teresina. **Conclusão:** Os níveis de intensidade de RNI nos ambientes das residências adjacentes ou não a transformadores de energia elétrica foram superiores à 0,4 μT , contrariando os limites mínimos de RNI baseados em estudos internacionais de diversos pesquisadores. Constatou-se que se os níveis de RNI nos ambientes residenciais são superiores em média a 1,23 μT então estas residências são adjacentes a transformador de energia elétrica; e a intensidade desses níveis será elevada nos ambientes residenciais se suas localizações estiverem entre diversas edificações, o que dificulta a reflexão da radiação de volta à atmosfera.

Palavras-chave: Campos eletromagnéticos; ambientes domésticos; transformador de energia elétrica; morfologia urbana

ABSTRACT

Introduction: Non-ionizing radiation (INR) is increasingly present in the daily lives of the population. There are several types of sources that emit INR ranging from mobile sources such as mobile phones to fixed sources such as power transformers and transmission lines. Associated with the comfort and well-being provided by technological advances, some epidemiological problems arise due to exposure to low frequency INR for long periods of time. Consistent epidemiological studies associate the emergence of childhood leukemia to residential exposure to INR, it is therefore important to investigate the factors responsible for exposure of the domestic environment to high levels of non-ionizing radiation, taking into consideration the sources of INRs internal to the residence and sources outside the home environment. **Objective:** To analyze the levels of non - ionizing radiation in residential environments of vertical buildings in areas of Brazilian regions. **Methodology:** Measurements of INR were performed in the adjacent living quarters (room, living room, kitchen, living room) adjacent to the electric power transformer located in neighborhoods of João Pessoa, Teresina, Manaus, Brasilia and Joinville. INR intensity data at the 60 Hz frequency were measured using the Spectran NF-5035 apparatus located near the entrance door of each environment over a 24-hour period. Afterwards the behavior over time of the levels of INR through probabilistic distribution was analyzed, and comparisons were made between the measurements of each environment from graphical descriptive analyzes and through the statistical tests Kruskal Wallis and Mann-Whitney, $\alpha = 0,05$. Taking into account the power of the energy transformer adjacent to the residence and the proximity between the buildings, the cartographic databases of the municipalities were evaluated the environment of buildings whose environments had elevated levels of non-ionizing radiation and / or with oscillations over a certain period of time. Finally, in order to verify if in the neighborhoods where the measurements were taken there are cases of childhood leukemia, the number of occurrence of childhood leukemia was raised through the National Cancer Institute (INCA). **Results:** (1) The behavior of RNI levels in the environments followed the log-normal probabilistic distribution; (2) The "kitchen" and "room-kitchen" environments presented high levels of INR intensity (1.07|-|1.56 μ T); (2) RNI levels (1.112 μ T) in the living room environment of a residence in the Manaíra neighborhood, João Pessoa, were higher than the other environments; (3) INR levels in the environments of a building in the city of Águas Claras, Brasilia, recorded levels of 1.99 μ T but with oscillations around 1 to 6 μ T; (4) RNI levels in the fourth room of a building in the neighborhood Aleixo, Manaus, obtained levels of 2 μ T but with oscillations around 0.8 to 12 μ T; and (5) In cities where RNI levels were measured 77 cases of childhood leukemia were recorded in João Pessoa between 2005 and 2012; between 2005 and 2009 the number is 148 in Manaus; between 2005 and 2006 there were 52 cases in Brasília; and 18 cases in Teresina. **Conclusion:** The levels of INR intensity in adjacent or non-electric household transformers were higher than 0.4 μ T, contrary to the minimum limits of INR based on international studies of several researchers. It was verified that if the levels of INR in the residential environments are higher in average to 1.23 μ T then these residences are adjacent to transformer of electrical energy; and the intensity of these levels will be high in the residential environments if their locations are between several buildings, which makes it difficult to reflect the radiation back to the atmosphere.

Keywords: Electromagnetic fields; domestic environments; electric power transformer; urban morphology

LISTA DE SIGLAS

AAT	Apartamentos Adjacentes à Transformadores de Energia Elétrica
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CMEBF	Campos Magnéticos de Extrema Baixa Frequência
CEM	Campos eletromagnéticos
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
INIRC	International Non-Ionizing Radiation Commission
IARC	International Agency for Research on Cancer
IRPA	International Radiation Protection Association
NR	Norma Regulamentadora
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
RI	Radiação Ionizante
RNI	Radiação Não Ionizante
RF	Radiofrequência
REV	Residências de Edificações Verticais
SAR	Specific Absorption Rate
SNC	Sistema Nervoso Central
UIT	União Internacional das Telecomunicações

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2 - RNI em apartamentos adjacentes à transformadores de energia elétrica.....	27
Figura 3 - RNI nos apartamentos de um mesmo edifício.....	27
Figura 4 - Curvas médias dos campos eletromagnéticos.....	29
Figura 5 - Probabilidade acumulada da exposição residencial a campos magnéticos em países europeus.....	31
Figura 6 - Localização do transformador de energia elétrica e a exposição à campos magnéticos.....	31
Figura 7 - Níveis de reflexão da radiação de diferentes materiais urbanos.....	35
Figura 8 - Fluxograma de pesquisa bibliográfica.....	41
Figura 9 - Resultados da pesquisa bibliográfica.....	43
Figura 10 - Quantitativo de referencial teórico.....	43
Figura 11 - Quantitativo de artigos por ano de publicação.....	44
Figura 12 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes- Tambaú.....	60
Figura 13 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes - Cabo Branco....	61
Figura 14 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes - Bancários.....	64
Figura 15 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes.....	66
Figura 16 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes.....	67
Figura 17 - Entorno da edificação, raio de 120 metros.....	69
Figura 18 - Mapa do uso e ocupação do solo.....	70
Figura 19 - Mapa do gabarito das edificações.....	71
Figura 20 - Mapa de áreas verdes.....	72
Figura 21 - Mapa de cheios e vazios.....	72
Figura 22 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes – “cozinha”, “quarto” e “sala”.....	73
Figura 23 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes– “sala-cozinha” e “quarto”.....	75
Figura 24 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes– “sala-cozinha” e “quarto”.....	77
Figura 25 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes– “sala-cozinha” e “quarto”.....	78
Figura 26 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala”.....	79
Figura 27 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala”.....	80
Figura 28 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “cozinha”, “quarto” e “sala”.....	82
Figura 29 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “cozinha”, “quarto” e “sala”.....	83
Figura 30 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”.....	85
Figura 31 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”.....	86
Figura 32 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”.....	88
Figura 33 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”.....	90
Figura 34 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”.....	91
Figura 35 - Edifício Sol Morar – Manaus.....	92
Figura 36 - Comportamento dos níveis médios de RNI.....	93
Figura 37 - Probabilidade acumulada.....	94
Figura 38 - Probabilidade acumulada dos níveis de RNI nos AAT.....	95
Figura 39 - Oscilação dos níveis de RNI no intervalo de 60 segundos.....	97
Figura 40 - Mapa de ocupação e uso de Águas Claras.....	98

Figura 41 - Mapa de áreas verdes de Águas Claras.....	99
Figura 42 - Mapa de área construída de Águas Claras, DF.....	100
Figura 43 - Mapa de gabarito de Águas Claras, DF.....	100
Figura 44 - Perspectiva do entorno imediato do AAT em Águas Claras, DF.....	101
Figura 45 - Transformador de abrigada subterrânea na edificação de Águas Claras.....	102
Figura 46 - Mapa de áreas verdes de Manaus.....	103
Figura 47 - Mapa de área construída de Manaus.....	104
Figura 48 - Mapa de áreas de alta tensão de Manaus.....	105
Figura 49 - Vista entorno imediato da edificação.....	105
Figura 50 - Mapa de relevo Manaus.....	106
Figura 51 - Vista da edificação.....	107
Figura 52 - Subestação de alta tensão no bairro Aleixo.....	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Agrupamento de palavras-chave para busca nas bases de dados	42
Quadro 2 - Pesquisas mais relevantes para o referencial teórico	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis do estudo.....	45
Tabela 2 – Perfil da amostra.....	46
Tabela 3 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 1.....	54
Tabela 4 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 2.....	57
Tabela 5 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 3.....	59
Tabela 6 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 4.....	61
Tabela 7 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 5.....	63
Tabela 8 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 6.....	64
Tabela 9 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 7.....	70
Tabela 10 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 8.....	72
Tabela 11 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 9.....	73
Tabela 12 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 12.....	77
Tabela 13 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 13.....	78
Tabela 14 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 14.....	80
Tabela 15 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 15.....	82
Tabela 16 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 16.....	84
Tabela 17 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 17.....	85
Tabela 18 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 18.....	87
Tabela 19 – Casos de leucemia infantil.....	105
Tabela 20 – Número de ocorrência de leucemia infantil por bairros – João Pessoa.....	105

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	17
1.4	DELIMITAÇÃO	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	CAMPOS MAGNÉTICOS DE EXTREMA BAIXA FREQUÊNCIA (CMEBF)	20
2.1.1	Normas e padrões internacionais e nacionais	20
2.1.2	Efeitos da exposição dos CMEBF ao meio ambiente e à saúde humana	23
2.2	EXPOSIÇÃO RESIDENCIAL À RNI DE EXTREMA BAIXA FREQUÊNCIA (50 OU 60 HZ)	25
2.2.1	Fontes emissoras de CMEBF externas às residências	25
2.2.2	Morfologia urbana	32
2.2.3	Fontes emissoras de CMEBF internas às residências.....	35
2.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
3	REVISÃO SISTEMÁTICA	41
3.1	RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA	41
3.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	48
4.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	49
4.3	COLETA DE DADOS	49
4.3.1	Mensuração de campo magnético.....	49
4.3.2	Mapeamento dos dados de leucemia infantil.....	51
4.4	ANÁLISE DOS DADOS	52
4.4.1	Análise estatística dos níveis de intensidade de RNI	52
4.4.2	Análise das variáveis de morfologia urbana.....	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA	54
5.1.1	João Pessoa.....	54
5.1.2	Teresina	55
5.1.3	Manaus.....	55

5.1.4	Brasília.....	56
5.1.5	Joinville	56
5.2	COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE ENTRE OS AMBIENTES DE CADA RESIDÊNCIA	57
5.2.1	Residência 1 – 1º pavimento no bairro de Tambaú, João Pessoa.....	58
5.2.2	Residência 2 – 1º pavimento no bairro de Cabo Branco, João Pessoa.....	60
5.2.3	Residência 3 – 1º pavimento no bairro dos Bancários, João Pessoa	62
5.2.4	Residência 4 – 1º pavimento no bairro de Manaíra, João Pessoa.....	64
5.2.5	Residência 5 – 5º pavimento no bairro de Manaíra, João Pessoa.....	67
5.2.6	Residência 6 – 5º pavimento no bairro de Manaíra, João Pessoa.....	68
5.2.7	Residência 7 – 12º pavimento no bairro dos Estados, João Pessoa.....	74
5.2.8	Residência 8 – 15º pavimento no bairro do Jardim Luna, João Pessoa.....	75
5.2.9	Residência 9 – 2º pavimento no bairro de Intermares, Grande João Pessoa	77
5.2.10	Residência 10 – 5º pavimento na cidade do Gama, Brasília	78
5.2.11	Residência 11 – 1º pavimento na cidade de Águas Claras, Brasília.....	79
5.2.12	Residência 12 – 20º pavimento na cidade satélite de Águas Claras, Brasília	80
5.2.13	Residência 13 – 2º pavimento na cidade de Águas Claras, Brasília.....	82
5.2.14	Residência 14 – 5º pavimento no bairro do Horto, Teresina.....	84
5.2.15	Residência 15 – 1º pavimento no bairro de Ininga, Teresina	85
5.2.16	Residência 16 – 1º pavimento no bairro de Piçarreira, Teresina.....	87
5.2.17	Residência 17 – 2º pavimento no bairro do Centro, Manaus	88
5.2.18	Residência 18 – 2º pavimento no bairro do Aleixo, Manaus	90
5.2.19	Residência 19 – 5º pavimento no bairro de Floresta, Joinville.....	93
5.3	COMPORTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE	94
5.4	OSCILAÇÃO DOS NÍVEIS DE RNI EM FUNÇÃO DO TEMPO.....	96
5.4.1	Fatores que podem influenciar na oscilação da RNI na frequência de 60 Hz – AAT Águas Claras, Brasília.....	98
5.4.2	Fatores que podem influenciar na oscilação da RNI na frequência de 60 Hz – AAT Aleixo, Manaus	103
5.5	ASSOCIAÇÃO ENTRE LEUCEMIA INFANTIL E CAMPOS MAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA.....	107
6	CONCLUSÕES.....	112
	REFERÊNCIAS	114

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o conteúdo da pesquisa abordando aspectos relativos à definição e delimitação do tema, problema da pesquisa, assim como a justificativa e objetivos, e também um panorama global dos capítulos subsequentes.

1.1 TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

O avanço do desenvolvimento da tecnologia eletrônica e o surgimento das variadas facilidades e benefícios para o homem, acrescentando em novas possibilidades de serviços e soluções de demanda vieram associados ao conforto e bem-estar do cidadão. Nas últimas décadas, a exposição ambiental a fontes de campos eletromagnéticos artificiais aumentou consistentemente devido a maior utilização de energia elétrica, tecnologias sem fio e as mudanças em práticas profissionais e comportamento social. Tais fontes podem ser classificadas como fixas - destacando-se as linhas de transmissão de alta tensão e as subestações de transformadores de energia elétrica - ou móveis à exemplo de telefones celulares, máquinas industriais e eletrodomésticos variados (geladeira, fogões, cafeteiras, aparelhos de climatização, dentre outros). A presença destes tipos de fontes acarreta na exposição do usuário à campos elétricos e magnéticos, seja em ambientes residenciais ou laborais (OMS, 2002; CAMARA, 2014).

A exposição em demasia à radiação eletromagnética produz riscos ao meio ambiente e à saúde humana (GONÇALVES, 2012). Em relação aos efeitos que provoca no organismo humano, a radiação eletromagnética pode ser classificada em: radiações ionizantes (grupo que abrange também as radiações de alta frequência, tais como raios gama e raios X) e radiações não-ionizantes (de baixa ou extrema baixa frequência). As radiações ionizantes (RI) são capazes de danificar direta ou indiretamente o DNA dos tecidos, uma vez possuem energia suficiente para extrair elétrons de átomos ou moléculas. Já as radiações não-ionizantes (RNI) não possuem energia suficiente para realizar ionização, mas podem ser capazes de promover a quebra de moléculas e de ligações químicas. Os tipos de frequências caracterizadas como não ionizantes são: ultravioleta, infravermelho, radiofrequência, laser, luz visível, ondas de rádio, micro-ondas e luz (PETRUCCI, 2011).

Diversos estudos associam a exposição à RNI a eventuais problemas epidemiológicos aos seus usuários que vão desde dores de cabeça, ardência ocular, problemas de insônias até sintomas de hipersensibilidade eletromagnética (HAGSTRÖM; AURANEN; EKMAN, 2013; GENUIS; LIPP, 2012). A Organização Mundial da Saúde (2007) descreve como formas de manifestação da hipersensibilidade eletromagnética sintomas dermatológicos, neurastênicos e vegetativos. Alguns sintomas de hipersensibilidade eletromagnética estão vinculados à falta de ar, arritmia, fadiga, náuseas, problemas de memória e concentração, cefaleia, visão turva, dores nos membros, rigidez muscular e sensações de queimação (BRODIĆ, 2015).

Embora a hipersensibilidade eletromagnética ainda não seja formalmente reconhecida de forma consensual por todos os órgãos internacionais, os registros deste tipo de anomalia ocorrem de forma crescente em todo o mundo superando os números de casos de algumas síndromes genéticas há muito tempo reconhecidas (HUSS, 2016).

Ao longo das últimas duas décadas, a exposição residencial a campos magnéticos de extrema baixa frequência (CMEBF) tem sido associada a leucemia infantil em consistentes estudos epidemiológicos, embora a causalidade ainda esteja sob investigação (AHLBOM *et al.*, 2000; CALVENTE *et al.*, 2010; SAGE, 2012; ZARYABOVA, 2013; GRELLIER, 2014). A Agência Internacional de Investigação ao Câncer (IARC, 2002), classificou os CMEBF como possíveis elementos cancerígenos. É comum várias edificações verticais residenciais apresentarem estações de transformadores de energia elétrica internas aos prédios, o que aumenta potencialmente a exposição dos apartamentos adjacentes a estes transformadores aos CMEBF (KANDEL *et al.*, 2013).

A Comissão Internacional de Proteção à Radiação Não-Ionizante (ICNIRP), em 1998, fixou o limite de exposição do usuário à RNI para frequências de 50 Hz a 300 Hz em 100 μ T. Este limite supera em 250 vezes o nível nos quais os pesquisadores apontam como suficiente para caracterizar um ambiente como de risco para o desenvolvimento de anomalias, destacando-se principalmente a leucemia infantil. Na literatura vigente observa-se que ambientes que apresentam índices de exposição superiores a 0,4 μ T aumentam em no mínimo 200% o risco da ocorrência de leucemia infantil (AHLBOM *et al.*, 2000; ROOSLI, 2011). Esta diferença entre os limites de exposição para os CMEBF vem suscitando divergências e discussões entre os pesquisadores ao longo das duas últimas décadas (BALBANI; KRAWCZYK, 2011; CAMARA, 2014).

A ICNIRP (2010), após o reconhecimento por parte da IARC (2002) dos campos magnéticos de extrema baixa frequência como possíveis elementos cancerígenos, iniciou

pesquisas que se estenderão em escala global até meados de 2020 para uma melhor compreensão do fenômeno da RNI e a ocorrência da leucemia infantil. No entanto, em relatório publicado ainda neste mesmo ano de 2010, a ICNIRP reafirmou que a evidência científica até aquele presente momento entre a exposição prolongada a CMEBF e o risco aumentado da leucemia infantil ainda era considerada fraca para ser tomada como base para modificar as diretrizes de exposição. Os estudos publicados desde então apontam para a existência do risco para valores muito inferiores aos que são referidos a atual normalização, o que indica a possibilidade de redução dos limites de exposição para CMEBF no próximo relatório de diretrizes da ICNIRP no ano de 2020.

A leucemia infantil encontra-se relacionada com a exposição domiciliar à RNI, tendo em vista que as crianças apresentam características fisiológicas mais vulneráveis que os adultos, além de passar grande parte do tempo no interior de suas residências (VALENZUELA, 2011). No ambiente residencial há diversos dispositivos que ocasionam o aumento da exposição à RNI aos moradores. No que tange a exposição da RNI na frequência da rede elétrica a presença de transformadores de energia elétrica adjacentes as residências, associada com as fontes internas emissoras de campo eletromagnéticos e as características de morfologia urbana do entorno das moradias contribuem diretamente para o aumento da exposição dos ambientes residenciais à CMEBF.

Diante disso, há diversos estudos que tratam da problemática envolvendo a RNI, desde os voltados especificamente para a avaliação dos níveis de intensidade de CMEBF no interior das residências (TOMITSCH *et al.*, 2011; YITZHAK, 2012); aos que enfocam a exposição à RNI proveniente de transformadores de energia elétrica e linhas de transmissão (KANDEL *et al.*, 2013; PAVLÍK *et al.*, 2017); os que relacionam possíveis problemas epidemiológicos a exposição à RNI (DRAPER *et al.*, 2005; KHEIFETS *et al.*, 2009; CALVENTE *et al.*, 2010; BALBANI; KRAWCZYK, 2011; CAMARA, 2014).

Entretanto, nenhum desses estudos abordam de forma conjunta a exposição residencial a fatores internos e externos à moradia. Percebe-se que há um enfoque voltado quase que exclusivamente sempre a uma determinada variável, seja esta às fontes internas ou externas de emissão de campos eletromagnéticos. Porém, aquelas edificações onde seus respectivos ambientes residenciais apresentam níveis elevados de RNI é importante investigar também se o entorno dessas edificações influenciam na intensidade de RNI do ambiente.

Portanto, a problemática abordada coloca-se no nível da Ergonomia e da saúde ocupacional formalizada na seguinte questão: **Os ambientes de residências verticais em áreas das regiões brasileiras encontram-se expostos à radiação não ionizante?** Deste modo, pretende-se promover uma discussão da temática a partir dos dados coletados e confrontá-los com estudos desenvolvidos à nível nacional e internacional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os níveis de radiação não ionizante nos ambientes das residências verticais em áreas das regiões brasileiras.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar os níveis de radiação não ionizante entre os ambientes da residência;
- Identificar e caracterizar as principais fontes emissoras da radiação não ionizante em cada residência;
- Analisar aspectos de morfologia urbana das edificações residenciais com níveis de RNI representativos e/ou com oscilações em certo intervalo de tempo;
- Analisar o comportamento da intensidade da radiação não ionizante em diferentes regiões brasileiras;
- Mapear casos de leucemia em crianças vinculados aos bairros onde foram realizadas as medições de radiação não ionizante.

1.3 JUSTIFICATIVA

Durante as últimas décadas, os possíveis efeitos negativos sobre a saúde humana devido à exposição a campos magnéticos de extrema baixa frequência têm sido uma grande preocupação em epidemiologia ambiental. Grande parte da investigação foi dirigida para as fontes externas (transformadores de energia elétrica e linhas de transmissão). Para grande parte das pessoas, no entanto, as fontes internas são responsáveis por grande parte da exposição (GONÇALVES, 2012).

Devido a exposição cotidiana dos indivíduos à RNI de extrema baixa frequência, diversos trabalhos publicados buscam estabelecer uma conexão direta entre essa exposição e o desenvolvimento de doenças e distúrbios (KHEIFETS *et al.*, 2015; HENSHAW, 2002, ELWOOD, 2017; ROOSLI *et al.*, 2011; GRELLIER, 2014). Entidades internacionais, como o ICNIRP, WHO (*World Health Organization*), Cenelec (*European Committee for Electrotechnical Standardization*), IEC (*International Electrotechnical Commission*), ANSI (*American National Standards Institute – USA*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers – USA*), diante das possíveis complicações advindas com a exposição a essa fonte de radiação têm publicado, nos últimos anos, recomendações adotadas por diversos países. O Brasil, por meio da agência reguladora Anatel (Agência Nacional de telecomunicações), também acata as recomendações dos órgãos acima citados.

Zaryabova (2013) e Elwood (2017) relacionaram o aparecimento de problemas epidemiológicos, principalmente no que tange a leucemia infantil em recém-nascidos, às moradias que se enquadram nas categorias de apartamentos expostos a campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência, sendo estas as que apresentam valores de intensidade de RNI na frequência de 50 Hz ou 60 Hz superiores à 0,4 μ T.

Diversos autores alertam para o fato de que as presenças de subestações de transformadores de energia elétrica internas às edificações elevam a exposição residencial aos CMEBF (ILONEN *et al.*, 2008; HAREUVENY *et al.*, 2011; HUSS *et al.*, 2013; KANDEL *et al.*, 2013). Com o desenvolvimento urbano há um crescimento vertical da geometria dos grandes centros urbanos, ocasionando com que uma maior parte da população esteja submetida a moradias verticais e com transformadores de energia elétrica associados à estas edificações. O alto grau de urbanização no envolvimento de uma

residência pode ser um fator que influencie diretamente na exposição dos moradores à radiação não ionizante.

Os ambientes urbanos são compostos por diversos materiais, que possuem características específicas de condutividade térmica, calor específico, densidade, taxa de difusão térmica e capacitância de calor. Esses parâmetros físicos influenciam de maneira direta a radiação obtida por esses materiais. Com a falta de planejamento urbano adequado e com a ausência de grandes áreas verdes no interior das cidades, modifica-se o balanço de energia havendo uma maior emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas e, conseqüentemente, intensificando a exposição dos moradores a radiação não ionizante por um período maior de tempo (MUSLIM, 2015).

Observa-se que não têm sido desenvolvidos estudos que relacionem os aspectos da morfologia urbana onde a residência está inserida e o quanto isto pode acrescentar nos índices de exposição de RNI à residência. Neste sentido apresentam-se lacunas na literatura quanto a análise da exposição dos moradores à RNI. Diante desta perspectiva, faz-se então necessário uma análise mais profunda da exposição dos moradores à RNI, levando em consideração a problemática dos fatores internos às moradias (fontes eletrodomésticas), dos fatores externos às residências e internos às edificações (subestações de transformadores de energia elétrica) e dos fatores externos às edificações caracterizado pela geometria urbana onde a edificação está inserida.

Diante do exposto, esta pesquisa analisou os níveis de radiação não ionizante nos ambientes residenciais de edificações verticais em áreas das regiões brasileiras de acordo com as diretrizes internacionais, contribuindo com a discussão atual que envolve os limites de exposição para radiação não ionizante de extrema baixa frequência.

1.4 DELIMITAÇÃO

Esta pesquisa está delimitada em avaliar níveis de radiação não ionizante na frequência de 60 Hz (frequência da rede elétrica local) em ambientes residenciais de edificações verticais com subestações de transformadores de energia elétrica internas às edificações localizadas em bairros das cidades João Pessoa e Teresina (região nordeste), Manaus (região norte), Brasília (região centro-oeste) e Joinvile (região sul). Foram obtidos registros de casos de leucemia infantil nas cidades onde a pesquisa foi realizada, mas somente nas cidades João Pessoa e Manaus foram computados o número de ocorrência da doença por bairro.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do estudo foi elaborada para se ter 5 capítulos, que são:

- Cap. 1- Introdução – Fazer uma breve explanação dos assuntos que serão apresentados na dissertação. Mostrar a opinião de alguns autores, os objetivos da dissertação, justificar o trabalho, e informar sobre os próximos capítulos.
- Cap. 2 – Fundamentação Teórica – Mostrar os conceitos, modelos e as linhas que investigam o tema, os principais autores, as tendências e o que se estudou sobre o assunto até então.
- Cap. 3 – Revisão Sistemática – apresentar a metodologia utilizada neste trabalho para a revisão da literatura bem como seus resultados. Trata-se do levantamento de estudos relacionados ao tema da dissertação com o intuito de verificação do que vem sendo estudado e quais as lacunas que necessitam ser preenchidas, através do aprofundamento de pesquisas sobre o tema;
- Cap. 4 – Procedimento Metodológico – Classificar a pesquisa, apresentar as fases do estudo, as ferramentas utilizadas e os métodos e procedimentos adotados.
- Cap. 5 – Resultados e Discussão – Neste capítulo os resultados encontrados serão divulgados, analisados e discutidos à luz da literatura nacional e internacional.
- Cap. 6 – Conclusão – Verificar o atendimento aos objetivos, mostrar as contribuições da pesquisa, indicar as limitações e apresentar recomendações para futuros trabalhos.
- Referências - mostrar as informações dos autores citados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será apresentado a fundamentação teórica com a finalidade de mostrar conceitos necessários para se construir uma base sólida de conhecimentos que sustente a pesquisa empírica. Os assuntos aqui tratados são baseados em pesquisas publicadas nos mais diferentes periódicos. Nesses artigos são apresentados conceitos que auxiliam a compreensão do tema, o que possibilitará um melhor entendimento acerca da exposição dos moradores de residências verticais à radiação não ionizante.

Na secção 2.1 é discutido sobre os campos magnéticos de extrema baixa frequência, suas principais fontes e os limites de exposição estabelecidos pelas normas e padrões internacionais e nacionais.

A secção 2.2 apresenta as variáveis presentes na exposição dos moradores à CMEBF em ambientes residenciais.

Por fim, na secção 2.3 são apresentadas as considerações finais do capítulo.

2.1 CAMPOS MAGNÉTICOS DE EXTREMA BAIXA FREQUÊNCIA (CMEBF)

Os tópicos subsequentes tratarão exclusivamente da discussão da radiação não ionizante em frequências extremamente baixas (0 a 300 Hz), com o foco na frequência da rede elétrica que pode ser de 50 ou 60 Hz, a depender das características de distribuição elétrica de cada país. Serão abordados temas desde as entidades internacionais e nacionais que normatizam este tipo de exposição até os eventuais riscos à saúde dos indivíduos que estão expostos aos CMEBF.

2.1.1 Normas e padrões internacionais e nacionais

Diferentes organizações e países possuem as mais variadas recomendações/exigências legais e normativas aplicáveis à exposição aos CMEBF. A elaboração das recomendações internacionais de proteção às radiações não ionizantes é feita por comitês internacionais, que se baseiam principalmente nos resultados de estudos epidemiológicos e de pesquisas em laboratórios que fornecem as bases para a estimativa dos problemas associados a determinados agentes que, por sua vez, são usados para o

estabelecimento dos limites de exposição (OKUNO, 2009). As comissões trabalham em parceria e mantêm relações oficiais com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), a Organização Internacional do Trabalho (OIT), o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), entre outros (OKUNO, 2009).

Em 1992 houve a criação da Comissão Internacional de Proteção Contra Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP). A ICNIRP é a organização não governamental formalmente reconhecida pela Organização Mundial da Saúde e pelo Escritório Internacional de Trabalho quanto à orientação sobre os riscos da exposição à radiação não ionizante para a saúde e à proteção das pessoas e do meio ambiente (ZIEGELBERGER *et al.*, 2006).

A ICNIRP mantém uma estreita relação com todos os organismos internacionais envolvidos no campo da proteção contra radiações não ionizantes e atua em colaboração com a Associação Internacional de Proteção contra Radiação e suas sociedades. O escopo de seu trabalho abrange todos os tipos de radiações não ionizantes, incluindo radiações ópticas (ultravioleta, visível e infravermelho e lasers), campos elétricos e magnéticos estáticos e variáveis no tempo e radiofrequência, além de micro-ondas e ultrassom (ZIEGELBERGER *et al.*, 2006).

Diante disso, a ICNIRP dispõe de diretrizes internacionais sobre os limites de exposição a radiações não ionizantes; fornece orientações e recomendações sobre a proteção contra exposição a este tipo de radiação; e estabelece princípios para a formulação de programas de proteção a nível nacional e internacional (ZIEGELBERGER *et al.*, 2006).

Em 2010, a ICNIRP publicou um documento focado nas baixas frequências (ICNIRP, 2010), com o objetivo de complementar a diretiva de 1998 para as radiações eletromagnéticas de baixa frequência. Foi publicado principalmente em virtude das preocupações recentes sobre os efeitos das ondas eletromagnéticas de baixa frequência sobre tecidos nervosos e musculares (WESSELING, 2014).

A legislação brasileira foi redigida tomando como base as diretrizes estabelecidas pela ICNIRP (1998). A lei 11.934/2009 regulamenta os limites de exposição do público a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, gerados por estações transmissoras de radiocomunicação, de terminais de usuário e de sistemas de energia elétrica, visando garantir a proteção da saúde e do meio ambiente. Para isso, assume os limites da OMS

como recomendações, e do ICNIRP nas questões nas quais os parâmetros da OMS forem omissos, sabendo-se que as próprias recomendações da OMS são baseadas na ICNIRP.

Além disso, a lei 11.934/2009 estabelece que o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e o Fundo para Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (FUNTTEL) são os responsáveis pelas pesquisas sobre exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, reservando uma parcela dos recursos para estudos que avaliem a exposição associada a postos de trabalho em empresas que utilizem fontes geradoras desses campos e de indivíduos que possam ser especialmente afetados por eles, tais como crianças, idosos e gestantes. Adicionalmente, atribui a fiscalização do atendimento aos limites estabelecidos por esta Lei aos órgãos federais reguladores dos setores elétricos e de telecomunicações.

A Resolução nº 303, de 02 de junho de 2002, da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), aprovou o regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, na forma de anexo a esta Resolução. Este regulamento estabelece limites para a exposição humana associada à operação de estações transmissoras de radiocomunicação de serviços de telecomunicações, definindo métodos de avaliação e procedimentos a serem observados quando do licenciamento de estações de radiocomunicação, no que diz respeito a aspectos relacionados à exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na banda de radiofrequências.

Com relação à legislação trabalhista brasileira, a Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978, que aprovou as Normas Regulamentadoras (NRs) relativas à Segurança e Medicina do Trabalho, por meio da NR-9, considera as radiações não ionizantes como agentes causadores de risco físico para os trabalhadores a elas expostos. A NR-15 esclarece que, para os efeitos desta norma, são radiações consideradas radiações não-ionizantes as micro-ondas, a radiação ultravioleta e o laser, e as operações ou atividades que exponham os trabalhadores a qualquer desses tipos de radiações não-ionizantes, sem a proteção adequada, serão consideradas insalubres, em decorrência de laudo de inspeção realizada no local de trabalho.

2.1.2 Efeitos da exposição dos CMEBF ao meio ambiente e à saúde humana

Os possíveis efeitos da exposição à radiação não-ionizante para as pessoas incluem uma série de distúrbios físicos, neurológicos, psíquicos e comportamentais descritos na literatura dos últimos anos (FLODERUS *et al.*, 1993; LIBURDY *et al.*, 1993; MILLER *et al.*, 1996; AHLBOM *et al.*, 2000; MICHELOZZI *et al.*, 2002; HENSHAW, 2002; MOFRECOLA *et al.*, 2003; MILHAM, 2004; HARRINGTON *et al.*, 2001; KARIPIDIS *et al.*, 2007a; KARIPIDIS *et al.*, 2007b; KHEIFETS *et al.*, 2009; CALVENTE, 2010; WEST *et al.*, 2013; GRELLIER, 2014; ELWOOD, 2017). Além disso, outros seres vivos, por estarem presentes nos ambientes urbanos e domésticos, também sofrem essa influência, apresentando reações de diversos tipos a nível molecular, hormonal e macro. Os tópicos seguintes mostram o que tem sido discutido sobre esses fenômenos.

No tocante aos efeitos à saúde da exposição a campos magnéticos de extrema baixa frequência, os estudos epidemiológicos se sobressaem, uma vez que, atualmente, qualquer associação de causa-efeito só é considerada como verdadeira quando sustentada por evidências obtidas através de estudos desse tipo (MATTOS; KOIFMAN, 2004).

Neste sentido, o debate atual, no âmbito epidemiológico, sobre a associação entre a exposição aos campos eletromagnéticos de baixa frequência e a ocorrência de câncer assumiu uma importância fundamental para a compreensão aprofundada deste tema (MATTOS; KOIFMAN, 2004).

2.1.2.1 Efeitos imediatos em indivíduos

Os campos eletromagnéticos de baixa frequência normalmente atravessam o corpo humano. Campos magnéticos de baixas-frequências induzem correntes circulantes dentro do corpo humano. A intensidade dessas correntes induzidas depende da intensidade do campo magnético externo e do comprimento do percurso através do qual a corrente flui. Quando suficientemente intensas essas correntes podem causar o estímulo de nervos e músculos (OMS, 2002).

2.1.2.2 Distúrbios causados aos indivíduos a longo prazo

As preocupações em decorrência dos possíveis efeitos da exposição a longo prazo a campos eletromagnéticos sobre a saúde dos indivíduos já eram levantadas (MARINO; BECKER, 1978). Ao longo dos anos, o interesse por esta questão controversa continua a aumentar (CUNNINGHAM, 1991; GRELLIER, 2014; HAVAS, 2017).

A existência de uma associação entre a exposição residencial a campos magnéticos de baixa frequência e a leucemia infantil, por exemplo, foi sugerida pela primeira vez por Wertheimer e Leeper, em 1979 (AHLBOM *et al.*, 2000). Desde então, esta tem sido um questão abordada em estudos epidemiológicos subsequentes (GREENLAND, 2000; MICHELOZZI *et al.*, 2002; HARRINGTON *et al.*, 2001; CALVENTE *et al.*, 2010).

As divergências quanto à capacidade das radiações não-ionizantes de baixa e extrema baixa frequência de causarem câncer à população causam controvérsias entre os pesquisadores e até mesmo entre as entidades internacionais que são responsáveis pelo tema. Havas (2017) dividiu as duas vertentes que analisam este tema em dois grupos:

- O grupo que defende que os efeitos adversos à saúde são inconsistentes e inconclusivos e, embora reconheçam que alguns tipos de câncer, como por exemplo a leucemia infantil com exposição ao CMEBF, não podem ser ignorados, ressaltam que os riscos são baixos e podem estar associados a outros fatores causais. Tal grupo baseia-se na teoria de que a RNI não tem energia suficiente para extrair elétrons e que, portanto, é incapaz de causar câncer;
- O grupo que defende que a RNI é prejudicial à saúde humana em níveis que atualmente são predominantes nos centros urbanos, sustentando que além de estar associada ao desenvolvimento de câncer, pode provocar problemas reprodutivos, além de sintomas classificados como eletro-hipersensibilidade (EHS) ou intolerância ambiental idiopática, de acordo com a OMS, além de desencadear outras doenças crônicas comuns.

Havas (2017) explica que apesar da radiação ionizante e a RNI comporem o espectro eletromagnético, a aplicação do modelo de ionização à energia não-ionizante é inadequada. Ambas produzem efeitos biológicos, mas através de rotas diferentes: enquanto a radiação ionizante quebra ligações químicas, causando danos diretos ao DNA; a RNI altera o mecanismo de reparação de anti-oxidantes, resultando em uma acumulação de radicais livres, que agem interrompendo processos celulares e causando danos ao DNA.

Sage (2012) relata que existem comprovações científicas de que os efeitos biológicos da exposição à radiações não ionizantes de extrema baixa frequência são semelhantes aos da exposição a baixas doses de radiação ionizante. De forma análoga a Havas (2017), ele ressalta que há evidências de que campos electromagnéticos de extrema baixa frequência são genotóxicos, pois provocam estresse oxidativo, que resulta em danos ao DNA e falha na reparação de danos ao DNA.

A Agência Internacional de Investigação ao Câncer (IARC, 2002), classificou os campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência como possíveis elementos cancerígenos. Esta classificação foi baseada em estudos epidemiológicos que relacionavam a presença de campos eletromagnéticos em residências e a leucemia infantil. A relação foi tratada como consistente, como mostrado em duas análises combinadas (AHLBOM *et al.*, 2000; GREENLAND *et al.*, 2000) que abordaram os principais estudos epidemiológicos sobre o tema até o ano 2000.

2.2 EXPOSIÇÃO RESIDENCIAL À RNI DE EXTREMA BAIXA FREQUÊNCIA (50 OU 60 HZ)

A exposição residencial aos CMEBF pode estar relacionada à fontes externas e internas emissoras de radiação não ionizante nas frequências das redes elétricas locais. Em relação às fontes internas, as principais fontes emissoras de CMEBF são os utensílios eletrodomésticos presentes no ambiente residencial. Dentre as fontes externas às residências, destacam-se a presença de subestações de transformadores de energia elétrica internas às edificações, bem como o entorno onde a residência está inserida, os quais são fatores que influenciam diretamente no quanto a residência se encontra exposta à RNI de baixa frequência.

2.2.1 Fontes emissoras de CMEBF externas às residências

As fontes externas de emissão de RNI se caracterizam por uma conjuntura de fatores que vão desde a presença de subestações de transformadores de energia elétrica internas aos edifícios, assim como variáveis que compõem a geometria urbana e o layout externo das edificações.

2.2.1.1 Subestações de transformadores de energia elétrica internas às edificações

É comum vários edifícios residenciais apresentarem estações de transformadores de energia elétrica internas aos prédios, o que aumenta potencialmente a exposição a campos eletromagnéticos dos apartamentos adjacentes a estes transformadores. Uma pesquisa realizada na Finlândia (HAMALAINEM, 2002) indicou que cerca de 2700 residências estão localizadas diretamente acima de postos de transformadores de energia e que cerca de 8800 pessoas estão atualmente vivendo em tais residências naquele país.

Ilonen *et al* (2008) analisou 30 apartamentos residenciais em três cidades diferentes na Finlândia. Em cada edifício analisado, o apartamento diretamente acima do transformador de energia elétrica foi incluído na amostra, além de apartamentos do mesmo andar e de andares diferentes. Os edifícios que apresentavam estações internas de transformadores de energia, sendo considerados elegíveis para o estudo foram selecionados em parceria com a empresa de energia elétrica local. Detalhes técnicos destes transformadores também foram obtidos através de utilitários o que permitiu analisar a relação entre as características estruturais e os níveis de exposição aos campos eletromagnéticos. Como resultado do estudo observou-se que os apartamentos localizados diretamente acima desses transformadores, apresentaram os maiores valores a exposição de campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência.

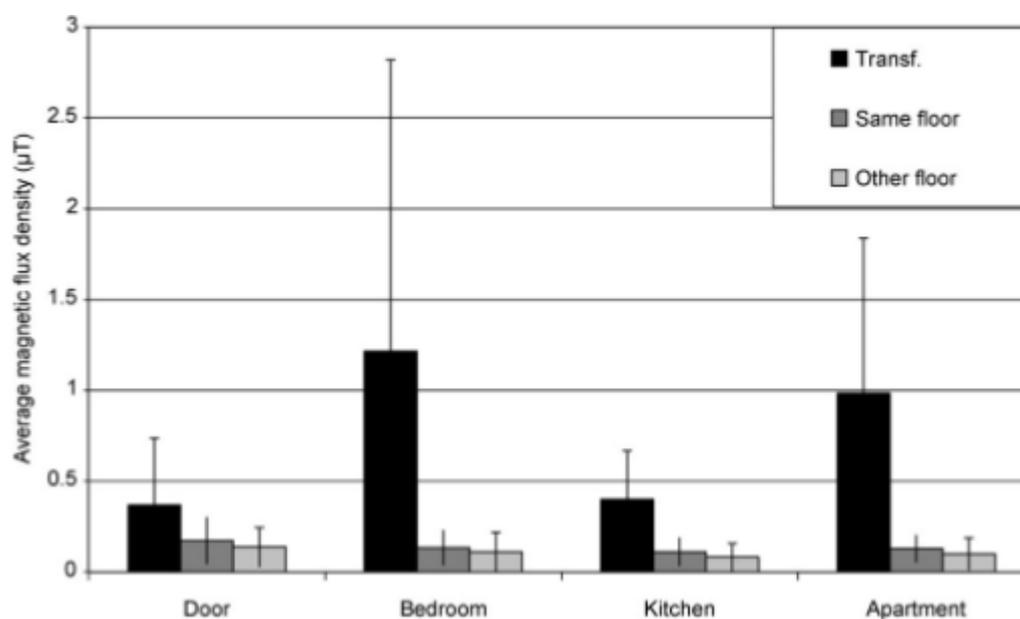
No mesmo ano, Thuróczy (2008) na Hungria (baseado na metodologia empregada na Finlândia), também traz como resultado que apartamentos adjacentes aos transformadores de energia elétrica apresentam maiores valores de exposição a campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência quando comparados aos demais apartamentos das edificações, conforme figuras 2 e 3.

Figura 1 - RNI em apartamentos adjacentes à transformadores de energia elétrica

	Apartments above TRS	Reference apartments, same floor as TRS	Reference apartments, other floors
Bedroom	<i>N</i> = 31	<i>N</i> = 28	<i>N</i> = 31
Room mean (μ T)	1.22 (0.08–6.35)	0.13 (0.02–0.41)	0.11 (0.01–0.44)
Room max (μ T)	2.18 (0.11–9.02)	0.18 (0.03–0.65)	0.15 (0.02–0.66)
Room min (μ T)	0.54 (0.05–2.92)	0.09 (0.01–0.24)	0.09 (0.01–0.41)
Living room	<i>N</i> = 29	<i>N</i> = 27	<i>N</i> = 30
Room mean (μ T)	1.13 (0.18–5.08)	0.12 (0.02–0.41)	0.11 (0.01–0.61)
Room max (μ T)	2.08 (0.25–9.08)	0.17 (0.03–0.64)	0.14 (0.01–0.68)
Room min (μ T)	0.47 (0.08–2.56)	0.08 (0.01–0.21)	0.09 (0.01–0.52)
Second room	<i>N</i> = 19	<i>N</i> = 11	<i>N</i> = 12
Room mean (μ T)	0.2 (0.06–3.85)	0.09 (0.01–0.28)	0.07 (0.01–0.16)
Room max (μ T)	1.50 (0.08–9.86)	0.14 (0.02–0.32)	0.10 (0.01–0.25)
Room min (μ T)	0.34 (0.04–1.36)	0.07 (0.01–0.25)	0.05 (0.01–0.14)
Kitchen	<i>N</i> = 25	<i>N</i> = 21	<i>N</i> = 26
Room mean (μ T)	0.40 (0.09–1.07)	0.13 (0.05–0.30)	0.10 (0.01–0.25)
Room max (μ T)	0.58 (0.11–2.35)	0.17 (0.05–0.36)	0.12 (0.01–0.40)
Room min (μ T)	0.30 (0.08–0.87)	0.10 (0.02–0.27)	0.08 (0.01–0.20)

Fonte: Thuróczy (2008)

Figura 2 - RNI nos apartamentos de um mesmo edifício



Fonte: THURÓCZY (2008)

As figuras 2 e 3 evidenciam diferenças significativas nos valores de campos magnéticos entre apartamentos acima dos transformadores de energia elétrica e os demais apartamentos. Em um mesmo apartamento há diferenças de valores de campos em diferentes cômodos em virtude da localização do transformador, bem como da localidade dos cabos condutores de baixa tensão acima dos transformadores de energia elétrica (THURÓCZY, 2008).

Hareuveny (2011) em estudo realizado em Israel também alerta o fato de apartamentos localizados no primeiro andar, adjacentes a estações de transformadores de energia elétrica, apresentarem exposição a campos eletromagnéticos bem maiores que os demais apartamentos referências do mesmo edifício. Em seu estudo, complementando estudos anteriores, ele adiciona como critério de inclusão das residências a serem analisadas, apartamentos no segundo andar imediatamente acima dos apartamentos ligados aos transformadores de distribuição de energia elétrica.

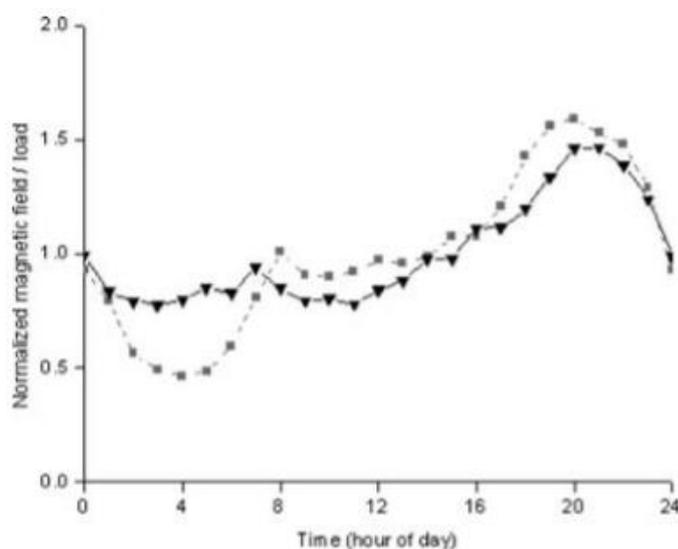
De acordo com Hareuveny (2011), apartamentos localizados adjacentes aos transformadores de energia elétrica internos às edificações podem ser classificados como altamente expostos quando comparado a qualquer outro apartamento num mesmo edifício. O autor sugere para pesquisas posteriores analisar a exposição dos apartamentos no segundo andar, adjacentes ao apartamento exposto ao transformador, pois este apresentou valores maiores de campo magnético do que os demais apartamentos de andares acima, passando assim, a levar em consideração três categorias de residências a serem analisadas: apartamentos adjacentes aos transformadores de energia elétrica, demais apartamentos no primeiro andar e apartamento no segundo andar adjacente ao apartamento exposto.

Roosli (2011) em estudo realizado na Suíça mostra o grau de exposição para cada categoria de apartamento selecionada. Ele alerta para o fato de não ser simples identificar edifícios elegíveis com apartamentos muito expostos, mesmo nas áreas mais urbanizadas da Suíça. Isto sugere que os apartamentos altamente expostos em edifícios com transformadores de energia elétrica não são comuns. De acordo com a pesquisa, a classificação da exposição com base na localização do apartamento em relação a localização do transformador é viável. O autor atenta para o fato de que devido à pouca quantidade de apartamentos altamente expostos, há uma dificuldade em correlacionar a presença destes campos com o surgimento da leucemia infantil em determinados grupos de controle.

Yitzhak (2012) observou a exposição aos campos eletromagnéticos durante todo o dia no interior de cada apartamento, constatando os maiores valores de picos nos períodos das 18:00h às 24:00h para todos os apartamentos. Foi feita uma relação do tempo de exposição com o período em que os moradores destes apartamentos estão em suas residências. Yitzhak comenta que há uma relação direta com a variação de carga proveniente dos transformadores de energia elétrica e a variação dos campos eletromagnéticos no interior de cada apartamento durante as 24 horas do dia.

A figura 4 mostra a relação direta da exposição dos apartamentos adjacentes aos transformadores para cada período do dia, variando em função da quantidade de carga que é emitida pelos transformadores. Percebe-se que no período noturno há os maiores valores de picos para todos os apartamentos.

Figura 3 - Curvas médias dos campos eletromagnéticos



Fonte: Yitzhak (2012)

Medições ao redor e acima de três postos de transformadores independentes confirmam que eles são uma grande fonte de campos eletromagnéticos (KANDEL, 2013). Os contornos elevados de campo magnético têm uma forma elipsoidal, centrado ao longo dos cabos de alimentação de baixa voltagem. Os maiores valores de campos magnéticos se encontram nas imediações circundantes dos transformadores. Kandel (2013) aponta que para o ponto de corte de $0,4\mu\text{T}$ para campos magnéticos usados em estudos epidemiológicos, o resultado indica que valores maiores do que este raramente ocorre em transformadores com distâncias maiores que três metros dos cabos de baixa tensão. Entretanto, valores bem maiores que este existe logo acima dos transformadores. Valores de campo maiores que $0,4\mu\text{T}$ não são comuns de ocorrer a partir de distâncias superiores a dois metros acima das estações de transformadores (KENDEL, 2013).

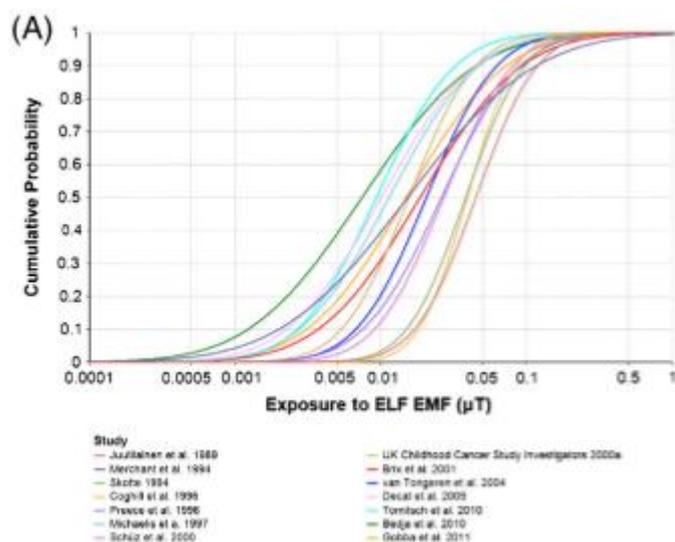
Zaryabova (2013) em estudo piloto realizado na Bulgária inicia uma discussão sobre a relação entre o surgimento de problemas epidemiológicos, principalmente em recém-nascidos, às moradias que se enquadram nas categorias de apartamentos expostos a campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência. Através de medições de RNI

realizadas por todas as regiões de Sofia (capital da Bulgária), também se constatou que apartamentos adjacentes a transformadores apresentam os maiores valores de exposição a campo magnético. Com base nos registros de câncer disponíveis na Bulgária, Zaryabova (2013) estabelece uma relação entre a localização das residências com transformadores de energia elétrica adjacentes e o surgimento da leucemia infantil. Foram identificados três casos que para o autor merecem uma maior discussão em estudos posteriores. O primeiro refere-se a uma criança com leucemia em um orfanato onde foi identificado um transformador subterrâneo localizado no jardim da Instituição. O segundo caso remete a uma criança leucêmica que vive em uma casa onde também foi identificado um transformador subterrâneo no jardim da residência, e o terceiro caso é referente a uma criança que vive em um edifício vizinho a uma estação interna de transformador. Para o autor há a necessidade de um maior aprofundamento de pesquisas sobre esta problemática afim de se estabelecer uma correlação direta entre o surgimento da leucemia e a presença de campos magnéticos de extrema baixa frequência proveniente dos transformadores.

Para Huss (2013), moradores podem ser agrupados em categorias de alta e baixa exposição de acordo com a localização do apartamento em relação aos transformadores. Ao longo das últimas duas décadas, a exposição residencial a campos magnéticos extremamente baixa frequência tem sido associada a leucemia infantil em consistentes estudos epidemiológicos, embora a causalidade ainda esteja sob investigação (GRELLIER, 2014). Em estudo realizado pela Europa, Grellier (2014) estimou os casos de leucemia infantil que podem ser atribuídos à exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência. Ele estimou as distribuições de exposição a campos magnéticos utilizando estudos identificados na literatura existente e constatou-se que a exposição a campos magnéticos de baixa frequência podem ser a causa de 5% dos casos de leucemia infantil ocorrentes em toda União Europeia.

A figura 5 retrata a probabilidade acumulada em função da exposição ao campo magnético de uma série de estudos realizados na Europa. Pode se notar que para cada estudo analisado, a curva média da exposição magnética é inferior a $0,1 \mu\text{T}$. Isto ocorre porque apenas uma pequena parte (0,54%) da população analisada está exposta a condições graves de exposição. Para estes casos, Grellier (2014) afirma que há uma razão de chance maior entre o surgimento da leucemia infantil e o aumento da exposição residencial magnética.

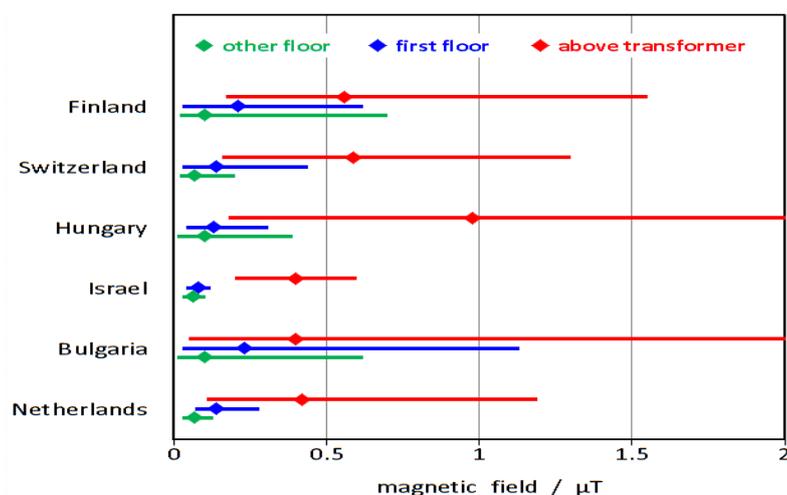
Figura 4 - Probabilidade acumulada da exposição residencial a campos magnéticos em países europeus



Fonte: Grellier (2014).

A Figura 6 mostra os dados de seis países diferentes que sugerem que o apartamento imediatamente acima do transformador, de fato, tem exposições à CMEBF mais elevadas que os demais.

Figura 5 - Localização do transformador de energia elétrica e a exposição à campos magnéticos



Fonte: Transexpo (2015).

Os dados da Figura 6 fazem parte do relatório do Projeto Transexpo que ocorre na Europa e enfatizam a alto nível de exposição a campos magnéticos dos apartamentos adjacentes aos transformadores quando comparado aos demais apartamentos de um

mesmo edifício. O projeto Transexpo tem o objetivo de realizar estudos com a finalidade de avaliar os riscos à saúde proveniente da exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência. Atualmente há estudos pilotos realizados pelo projeto por grande parte da Europa, tentando trazer respostas cada vez mais consistentes ao que tange a temática da exposição a campos magnéticos de baixa frequência e o surgimento da leucemia infantil, a qual vem aumentando proporcionalmente ao crescimento urbano.

2.2.2 Morfologia urbana

A morfologia urbana é levada em consideração por refletir o processo de urbanização que resultou na estruturação das ruas, bairros e cidades, sobretudo nos grandes centros urbanos. Muslim (2015) destaca que, nas últimas décadas, o processo de urbanização se intensificou e tem gerado mudanças significativas nas formas espaciais urbanas. A verticalização dos centros urbanos aumentam a superfície de contato exposta à radiação e, conseqüentemente, geram um aumento de absorção de radiação solar. Além disso, provocam a diminuição da velocidade média dos ventos, devido ao aumento da rugosidade urbana (FERREIRA, 2014).

2.2.2.1 Fator visão do céu

O termo fator de visão de céu (FVC) ou ângulo de obstrução do horizonte (ψ), é um parâmetro adimensional que quantifica a quantidade de céu visível em um local. Esse parâmetro assume valores entre 0 (zero) e 1 (um). Isto indica uma relação geométrica entre a terra e o céu e que representa a relação entre a área de céu obstruída e a área total da abóbada celeste visível (FERREIRA, 2014).

Outra característica do FVC é que quanto mais obstruído uma área no meio urbano (maior obstrução da visão do céu), maior será a dificuldade do ambiente dispersar energia térmica armazenada para a atmosfera, gerando assim uma absorção maior dessa energia pelas edificações. Isso se dá porque a morfologia urbana e a verticalização aumentam a superfície de contato exposta à radiação e, conseqüentemente, há um aumento de absorção de radiação solar (FERREIRA, 2014).

Souza (2010) relata que em termos geométricos, qualquer edificação, elemento ou equipamento urbano pertencente ao plano do observador posicionado na camada intraurbana representa uma obstrução à abóbada celeste. A projeção dessa edificação na abóbada celeste é a fração do céu por ela obstruída para o observador (ou ainda, representa a parte obstruída do fluxo de radiação, que deixa o observador, em direção ao céu). Seu valor numérico é sempre menor que a unidade, pois dificilmente se encontram regiões urbanas que não apresentem nenhuma obstrução do horizonte (situação para a qual seu valor seria a unidade).

2.2.2.2 Capacidade de armazenamento de RNI dos materiais de edificações urbanas

Os ambientes urbanos são compostos por diversos materiais, que possuem características específicas de condutividade térmica, calor específico, densidade, taxa de difusão térmica e capacidade de calor. Esses parâmetros físicos irão influenciar de maneira direta à radiação obtida por esses materiais. Com a falta de planejamento urbano adequado e com a ausência de grandes áreas verdes no interior das cidades, modifica-se o balanço de energia havendo uma maior emissão de ondas longas pelas superfícies urbanas e, conseqüentemente, intensificando efeitos das ilhas de calor (MUSLIM, 2015). Essas ilhas são fenômenos próprios das cidades, resultante do processo de urbanização e características peculiares ao meio urbano (PARK, 2016). Configura-se como uma decorrência do balanço de energia no espaço urbano, que se caracteriza através do acúmulo de calor nas superfícies e conseqüente elevação da temperatura do ar (GARTLAND *et al*, 2010).

Akbari, H. (2009) relata que as áreas urbanas com uma elevada porcentagem de superfícies pavimentadas são muitas vezes vários graus mais quentes do que as áreas rurais com superfícies menos pavimentadas. Os materiais de pavimentação absorvem mais radiação resultando em temperaturas locais mais elevadas. Isto é comumente conhecido como efeito dos materiais presentes nas ilhas de calor. Temperaturas localizadas mais elevadas aumentam a energia requerida para o arrefecimento e, como resultado, contribuem para o aquecimento global. Alguns estudos sugerem que a atenuação dos efeitos da ilha de calor urbana pode resultar em economias de utilidade de 5 a 10% no consumo de energia (ALLEN, 1991; MAGLI, 2015;).

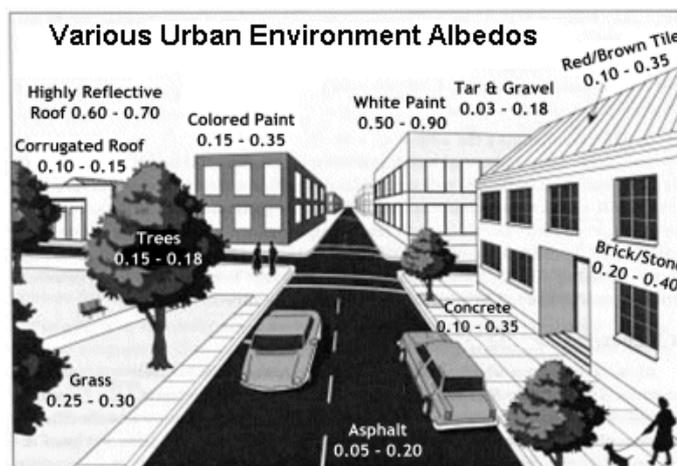
Os materiais de engenharia e de superfícies impermeáveis como, por exemplo, o asfalto, betume, tijolos, edifícios baixos e altos, têm grandes contribuições para a alteração do balanço de energia da superfície urbana (MORRIS, 2016). As superfícies urbanas densas apresentam materiais escuros, com baixo albedo de superfície, alta condutividade térmica e capacidade de armazenamento de calor, o que inevitavelmente, aumenta o índice térmico da região com consequências como o desconforto térmico (TOMLINSON *et al*, 2011) e problemas na qualidade do ar (LAI; CHANG, 2009).

Yuan (2015) relata o fato que os edifícios podem ser responsáveis por cerca de 50% das emissões urbanas de calor. O uso generalizado de materiais com alta refletividade à radiação solar e alta emissividade espectral é considerado como uma das técnicas mais eficazes para reduzir os requisitos de energia necessários para refrigeração. O aumento do albedo urbano pode reduzir a temperatura, resultando em melhor qualidade do ar. Além disso, o aumento do albedo urbano pode resultar em menor absorção de radiação solar recebida pelo sistema superfície-troposfera.

Para Castro (2002), dependendo das propriedades das superfícies atingidas pela radiação, diferentes processos poderão ocorrer, tais como a absorção, reflexão e transmissão da radiação solar. Independentemente de qual desses processos seja predominante, há sempre um ganho de calor. A insolação em edifícios mostrou-se uma variável de grande influência no ganho de calor das construções.

O albedo é o percentual de radiação solar de ondas curtas refletida pela superfície. Segundo Barbirato *et al* (2007), a capacidade de reflexão e absorção dos diversos materiais em relação à radiação, depende diretamente de suas propriedades físicas (albedo) como densidade e textura. O albedo urbano influencia consideravelmente na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para atmosfera. A figura 7 apresenta os níveis de albedo de diferentes materiais presentes no ambiente urbano.

Figura 6 - Níveis de reflexão da radiação de diferentes materiais urbanos



Fonte: Environmental Protection Agency, EPA (2013)

O quanto a energia solar irá aquecer o meio ambiente urbano está ligado diretamente à sua capacidade de reflectância (albedo). Menos reflectância da radiação significa que mais radiação é absorvida e armazenada no meio ambiente local. Um albedo urbano baixo (normalmente 15% em comparação com um albedo rural de 20-25%) resulta mais absorção de radiação do que num ambiente rural, gerando ondas de calor mais elevadas em áreas que apresentam o efeito de ilhas de calor urbano (ROSSI, 2014).

Durante as últimas décadas, os possíveis efeitos negativos sobre a saúde humana devido à exposição a campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência têm sido uma grande preocupação em epidemiologia ambiental. Grande parte da investigação foi dirigida para as fontes externas (transformadores de energia elétrica e linhas de transmissão). Para muitos pesquisadores, no entanto, as fontes internas são responsáveis por grande parte da exposição.

2.2.3 Fontes emissoras de CMEBF internas às residências

Ainsbury (2005), em pesquisa realizada em residências no Reino Unido retrata que o ambiente domiciliar mais exposto à campos eletromagnéticos provenientes de aparelhos eletrodoméstico se encontra na cozinha e que os moradores passam em média 4 a 5 horas por dia neste ambiente. Ele mostra que a exposição ao campo magnético médio acumulado nestes ambientes é de 0,067 μ T, cerca de 50% maior que no fundo da casa de

0,044 μ T, o que de acordo com o autor parece possível que os aparelhos eletrodomésticos contribuíram para esse acréscimo de exposição.

Behrens (2005) discute a exposição ao longo da vida para campos magnéticos gerados pelos aparelhos domésticos em diferentes níveis de precisão em uma grande amostra de controle representativo. Ele se concentrou em dispositivos elétricos que foram mostrados como fornecedores relevantes de exposição. Aparelhos como forno de micro-ondas, televisão, secadores de cabelo, computadores, entre outros, foram selecionados devido ao grande tempo que o usuário passa os utilizando.

Joseph (2011) comparou os níveis de exposição e contribuições de diferentes fontes de radiação em ambientes específicos entre alguns países europeus (Bélgica, Suíça, Eslovénia, Hungria, e Países Baixos). Os dados obtidos foram analisados utilizando modelos de regressão estatística. A média de níveis de exposição foram comparadas entre os diferentes microambientes, tais como casas, transportes públicos, ou ao ar livre.

Como resultado, se teve que os níveis de exposição foram da mesma ordem de grandeza em todos os países e bem abaixo dos limites de exposição internacionais. Em todos os países, exceto para os Países Baixos, a maior exposição total foi medida em veículos de transporte (trens, automóveis e carros), principalmente devido à radiação de telefones celulares (até 97%). Os níveis de exposição foram em geral mais baixos em casas particulares e apartamentos do que em escritórios e ao ar livre. Em ambientes domiciliar, as contribuições de várias fontes foram bastante diferentes entre os países (JOSEPH, 2011).

Tomitsch (2011) analisou a exposição à campos eletromagnéticos no interior dos quartos em um estudo realizado na Áustria. O estudo foi focado principalmente no período noturno, pois é geralmente o período em que o morador passa mais tempo do seu dia neste tipo de ambiente. O autor constatou que a exposição à campos magnéticos de extrema baixa frequência (50 Hz) apresenta diferença significativa quanto a localização geográfica (ambiente urbano ou rural) e quanto ao tipo de moradia (*flat* ou casas familiares). Ambientes rurais apresentaram valores de exposição à RNI na faixa de frequência de 50Hz menores que os ambientes urbanos. Para frequências elevadas, constatou-se que a localização da residência (ambiente rural ou urbano) influí significativamente nos níveis de exposição à RNI, porém ao contrário da frequência de 50Hz o tipo de residência não apresentou diferença significativa na exposição à RNI. A correlação entre a exposição de RNI de alta e baixa frequência foi baixa (*Sperman R* = 0,16), mas estatisticamente significativa (*p*-value = 0,008) e independente da região e do

tipo de casa. Tomitsch (2011) relata que casas onde residem menos pessoas apresentam um consumo menor de energia o que representa valores menores de exposição a campos magnéticos de extrema baixa frequência.

Leitbeg (2012) leva em consideração em sua pesquisa a radiação proveniente de diversas fontes presentes no cotidiano doméstico da população. O autor demonstra que as emissões de campos magnéticos relevantes de aparelhos elétricos não são raras e que o ranking de emissões de aparelhos elétricos tem mudado consideravelmente. Além disso, apesar das tensões nominais superiores (230 V), os níveis máximos de campo magnético emitido foram encontrados consideravelmente mais elevada do que a relatada no passado. Os resultados, de acordo com Leitbeg (2012), podem contribuir para estimular a discussão sobre em que medida uma única fonte deve ser autorizada a se aproximar ou alcançar os limites de exposição existentes.

Huss (2016) avaliou a exposição do homem a campos eletromagnéticos de baixa frequência e ondas de rádio de alta frequência, simulando eventuais situações em que o ser humano está exposto no dia-a-dia. Foi selecionado uma amostra de 25 pessoas, saudáveis, para prática do experimento. Os pesquisadores desenvolveram equipamentos portáteis capazes de simular a frequência de determinados eletrodomésticos presentes em nossas residências, como por exemplo, a partir de campos eletromagnéticos de baixa frequência: aspirador, ventilador, lâmpadas LED, linhas de alimentação de energia. Um outro equipamento também desenvolvido pela pesquisa era capaz de gerar campo magnético de alta frequência (radiofrequência), simulando por exemplo a frequência emitida por sinais de banda larga, base de telefone móvel (GSM).

Huss (2016) procedeu o seu experimento da seguinte maneira, cada pessoa foi exposta a sinais de frequências distintos (primeiro para campos eletromagnéticos de baixa frequência e depois para campos de alta frequência), de modo que o teste foi dividido em 50 períodos de tempo. Em 25 deles, a amostra (a pessoa) estaria exposta (durante 30 segundos) a sinais eletromagnéticos e em 25 momentos não estava sendo exposto a nada, sendo isto tanto para campos de alta ou baixa frequência. Paralelamente eram feitas perguntas a estas pessoas para saber se elas eram capazes de sentir a presença do campo eletromagnético em cada uma dessas situações determinadas. Para cada aparelho simulado, houve uma repetição de 5 sinais de onda, por exemplo, para o ventilador, houveram emissões de ondas com frequências similares ao do ventilador 5 vezes, com o objetivo também de poder detectar se a amostra era sensível a uma determinada frequência (logo, a um determinado eletrodoméstico também).

Como resultado da pesquisa de Huss (2016) constatou-se que não era possível garantir que as pessoas que participaram do experimento sabiam exatamente quando estavam sendo expostas ou não a esta radiação. As diferenças quanto as percepções aos diferentes tipos de sinais também não foram consideradas estatisticamente significativas, de acordo com o modelo adotado por eles.

Com o intuito de observar o quanto o corpo humano pode absorver de RNI de cada fonte doméstica emissora de campo magnético, foi estabelecido uma Taxa de Absorção Específica, denominada *SAR*. A *SAR* é a medida da densidade de potência por unidade de massa, normalmente medida em watts por quilograma (W/kg) de tecido biológico. A taxa de absorção de energia depende da densidade de potência da radiação eletromagnética e das características do tecido onde a radiação incide. Assim, a *SAR* quantifica a energia absorvida pelo tecido, sendo diretamente proporcional ao aumento local de temperatura (PAULINO, 2001).

Cada tecido do corpo humano tem uma taxa de absorção de energia diferente, ou seja, para uma mesma intensidade de radiação eletromagnética atingindo todo o corpo de uma pessoa, partes diferentes do corpo irão absorver quantidades de energia diferentes. A taxa de absorção de energia depende da densidade de potência da radiação eletromagnética e das características do tecido em que a radiação incide. A *SAR* é utilizada como medida de referência pelas principais normas e diretrizes internacionais de exposição segura às radiações não ionizantes para estabelecer o limiar fisiológico de risco, tais como ICNIRP (1998), IEEE (2005) e Anatel (2015). É importante ressaltar que existem outras normas em desenvolvimentos, mas que ainda estão em fases de elaboração e não são utilizadas oficialmente, dentre elas, pode-se citar a IEC (2015). Como os valores de *SAR* são muito difíceis de serem medidos, utiliza-se, usualmente, a densidade de potência e, em seguida, calcula-se o valor da *SAR*. A *SAR* pode ser relacionada com o campo elétrico por meio de:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} [W/kg]$$

em que $|E|$ representa o módulo do campo elétrico (V/m), σ condutividade elétrica (S/m) e ρ o peso específico (kg/m³) de cada material.

Pode-se dizer que a *SAR* quantifica a potência absorvida por unidade de massa, sendo diretamente proporcional ao aumento da temperatura e responsável pelos efeitos

térmicos das ondas eletromagnéticas. Portanto, a SAR indica a energia absorvida e está relacionada com aumento de temperatura em toda parte do corpo. Atribuem-se, então, os seguintes fatores de segurança, de acordo com o tipo de exposição que possa ocorrer: 1) para ambientes controlados ou ocupacionais, que são os trabalhadores que estão instruídos e treinados em relação aos riscos potenciais e alertados a tomar as devidas precauções; 2) para ambientes não controlados, ou público em geral, quando pessoas de diferentes idades e com situações de saúde variáveis estão envolvidas, podendo incluir grupos ou indivíduos mais suscetíveis e que, normalmente, não estão conscientes ou prevenidos dos riscos de exposição à radiação não ionizante. O limite da SAR também depende do tipo de exposição. Para exposição do corpo inteiro, por exemplo, pode-se considerar a SAR média, que será, então, a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa. Entretanto, para aquecimentos localizados, como os produzidos pelos telefones celulares emitindo campos eletromagnéticos muito próximos da cabeça do usuário (a 2 cm ou menos), deve ser usada a SAR local, que é definida como a potência absorvida por unidade de massa de tecido.

Os limites dos valores permitidos de SAR no ser humano dependem do tipo de exposição. Neste estudo, as análises apresentadas consideram apenas o uso de equipamentos de comunicação sem fio em ambientes não controlados, ou público em geral. Em consequência disso, os valores calculados de SAR serão comparados aos valores de normas internacionais para esse grupo. De acordo com as normas internacionais de segurança ICNIRP (1998), IEEE (2005) que também são seguidas pela Agência Nacional de Telecomunicações, Anatel (2015). Para exposição a campos eletromagnéticos na faixa de 3 kHz a 300 GHz, o valor da a SAR máxima para a exposição de público em geral é de 2 W/kg.

O cálculo da SAR é relacionado com o campo elétrico, conforme segue a equação a seguir:

$$SAR = \left(\frac{\sigma}{2\rho}\right) (|Ex|^2 + |Ey|^2 + |Ez|^2) [W/kg],$$

em que E_x , E_y e E_z são os valores de pico das componentes do vetor do campo elétrico, enquanto σ e ρ são, respectivamente, a condutividade elétrica e a densidade de massa do tecido considerado.

Quando se tem diversas fonte de campo eletromagnético em um único dispositivo, o valor da SAR total, considerando que são N fontes não correlacionadas, é a soma da SAR para cada uma das N fontes, conforme Mahfouz *et al.* (2012) e ITU (2015).

Logo, a SAR total está representada por:

$$SAR_{total} = \sum_1^n SAR_i \text{ [W/Kg]}$$

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresentou e discutiu os principais conceitos sobre radiação não ionizante. Foram discutidas as principais fontes emissoras de RNI à nível residencial. Também foi elucidado as diretrizes definidas pelos órgãos e entidades regulamentadoras. Além disso foram abordados os possíveis riscos à saúde dos moradores em decorrência da exposição à RNI, sobretudo a campos magnéticos de extrema baixa frequência. Esses conceitos surgem da pesquisa em bases de dados como o Web of Science e SCOPUS.

Pode-se observar que na literatura vigente não há estudos que tratam da temática da exposição residencial à radiação não-ionizante levando em consideração a morfologia urbana. Existem uma série de estudos que relacionam a exposição residencial à presença de subestações de transformadores de energia elétrica ou à presença de fontes eletrodomésticas residenciais, porém não é levado em consideração também as características do entorno da edificação.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA

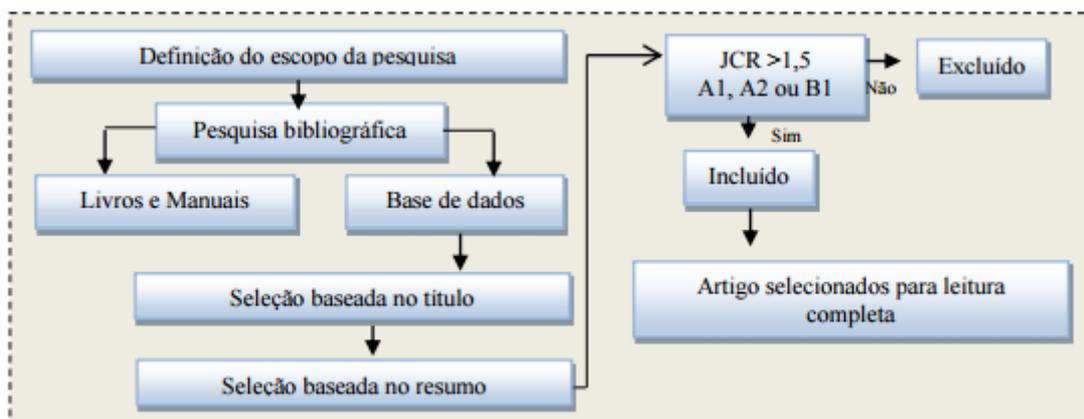
Nesse capítulo apresenta-se o resultado da pesquisa sistemática sobre o tema tratado nesse projeto discutido no capítulo 2. Espera-se observar o que vem sendo estudado e quais lacunas ainda necessitam ser preenchidas, direcionando e aprofundando o projeto sobre o tema.

3.1 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Essa fase serviu de base para elaboração do Capítulo 2 de Fundamentação Teórica, indicado anteriormente. A fundamentação foi construída com base em dados buscados em livros, dissertações, teses, periódicos nacionais e periódicos internacionais. A busca de informações fez uso de palavras-chaves preestabelecidas em base de dados, de modo a abranger o maior número possível de artigos dentro do tema da pesquisa, em especial artigos recentes e internacionais.

Para construção do referencial teórico da pesquisa foi utilizado o protocolo *Statement for Reporting Systematic Reviews* (PRISMA). O método consiste em um referencial prático, contendo uma lista de verificação de itens considerados essenciais para estruturação de revisões sistemáticas e meta-análises (LIBERATI *et al.*, 2009). As etapas de busca seguem o fluxograma apresentado na figura 8.

Figura 7 - Fluxograma de pesquisa bibliográfica



Fonte: Dados de pesquisa (2017)

A busca foi realizada nas bases de dados *Web of Science* e SCOPUS. As palavras-chave foram agrupadas conforme eixo temático para busca e análise dos artigos, conforme quadro 1.

Quadro 1 - Agrupamento de palavras-chave para busca nas bases de dados

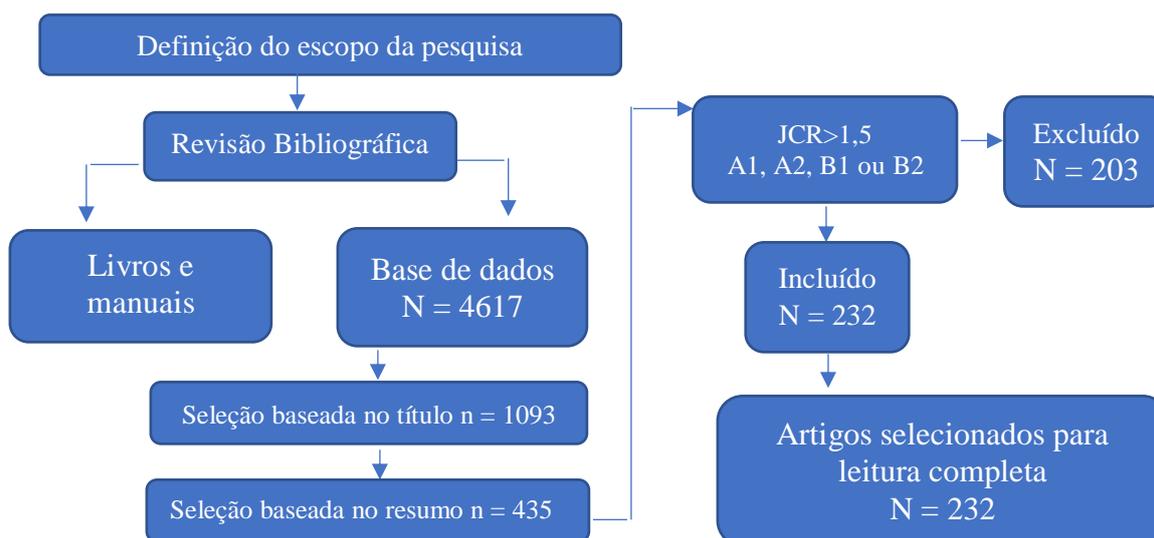
GRUPO	PALAVRAS-CHAVE
1	<i>urban morphology and non-ionizing radiation</i> <i>urban morphology and health</i> <i>urban morphology and changes climates</i> <i>urban morphology and buildings</i> <i>urban morphology and materials of construction</i>
2	<i>Non-ionizing radiation and health</i> <i>Non-ionizing radiation and buildings</i> <i>Non-ionizing radiation and appliances</i> <i>Non-ionizing radiation and occupational risk</i> <i>Magnetic field and transformers</i> <i>Magnetic field and occupational exposure</i> <i>Magnetic field and leukemia childhood</i>

Fonte: Dados de pesquisa (2017)

Todas as buscas foram filtradas sequencialmente por título, resumo e palavras-chave, e limitadas às publicações a partir de 2007. No entanto, os artigos com significativa relevância acadêmica - observado pelo número de citações e Journal Citation Report (JCR) - datado de anos anteriores a este período de tempo foram considerados.

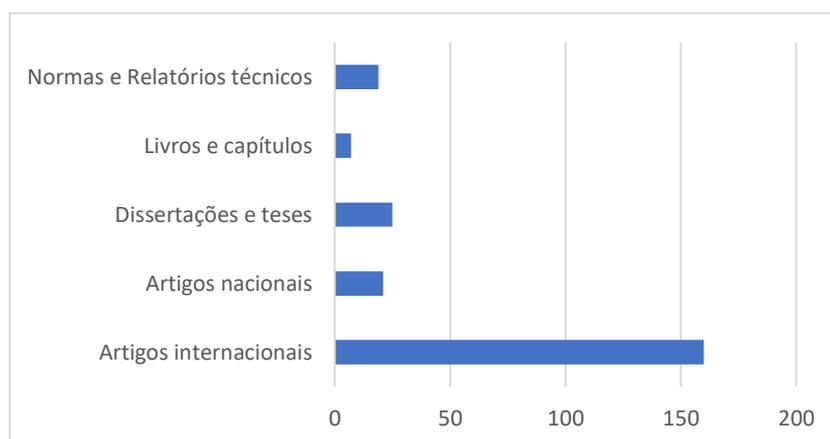
Após a coleta dos artigos e retiradas das duplicatas, estes foram avaliados com relação ao JCR e caso o artigo em questão não dispusesse da classificação, seria avaliado quanto ao Qualis CAPES. Foram inclusos artigos de periódicos que apresentaram classificação JCR superior à 1,5 e/ou Qualis CAPES entre A1 e B2. Os artigos selecionados foram submetidos à leitura e análise. Excluíram-se os respectivos textos referentes a títulos e resumos inadequados ao tema desta pesquisa. Os artigos selecionados foram analisados quanto aos resultados obtidos.

A figura 9 retrata o quantitativo de artigos selecionados para o levantamento bibliográfico, segundo a metodologia de busca utilizada.

Figura 8 - Resultados da pesquisa bibliográfica

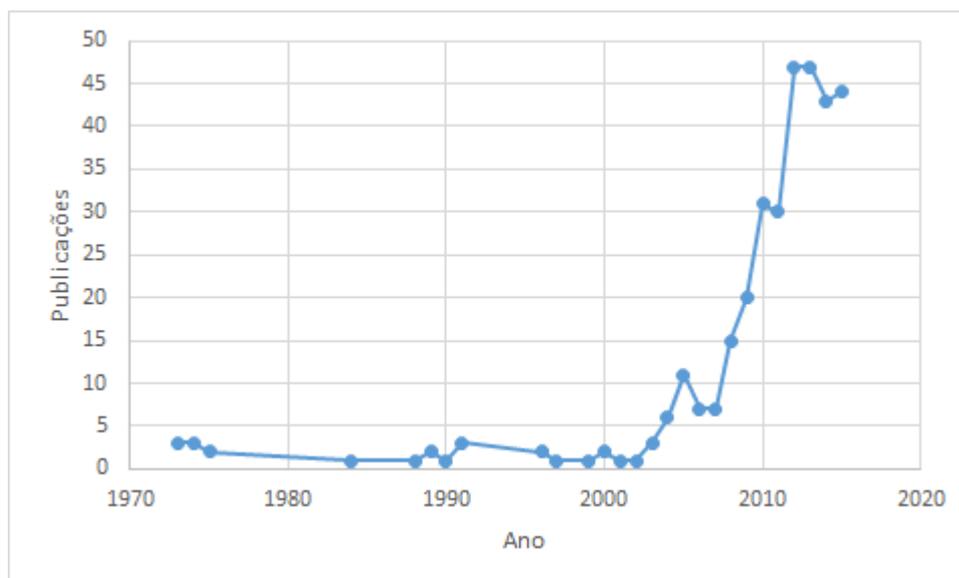
Fonte: Dados de pesquisa (2017)

Dentre as referências bibliográficas citadas se apresentam como as principais fontes os artigos de periódicos internacionais, contabilizando 69% da base referencial científica, como pode ser visto na figura 10.

Figura 9 - Quantitativo de referencial teórico

Fonte: Dados de pesquisa (2017)

A figura 11 expõe a quantidade de artigos por ano de publicação, incluindo artigos considerados como clássicos para temática na literatura. Percebe-se uma evolução nos estudos relacionados a radiação não ionizante e as variáveis de morfologia urbana, o que justifica o estudo nesta área, já que houve um crescimento significativo a partir do ano de 2004 até os dias atuais.

Figura 10 - Quantitativo de artigos por ano de publicação

Fonte: Dados de pesquisa (2017)

Os artigos de maior relevância para construção do referencial teórico estão destacados no Quadro 2, associados aos países em que o estudo foi realizado, os periódicos de publicação e seus respectivos fatores de impacto. Alguns estudos coletaram dados em vários países. Portanto, observa-se que o estudo da radiação não ionizante, assim como a temática das ilhas de calor, vem sendo desenvolvido de forma diversificada em várias regiões do mundo.

Quadro 2 - Pesquisas mais relevantes para o referencial teórico

Localidade	Autor/Ano	Título da pesquisa	Periódico	Fator de Impacto
Alemanha	Behrens, T. et al., / 2004	Quantification of lifetime accumulated ELF-EMF exposure from household appliances in the context of a retrospective epidemiological case-control study	Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology	3,141
Japão	Miyakoshi, J / 2007	Magnetic Fields Generated by an Induction Heating (IH) Cook Top do not Cause Genotoxicity In Vitro	Bioelectromagnetics	1,583
Finlândia	Ilonen, A; Mezei, G./ 2008	Indoor Transformer Stations as Predictors of Residential ELF Magnetic Field Exposure	Bioeletromagnetics	1,583

Hungria	Thuróczy, G., Mezei, G. / 2008	Exposure to 50 Hz magnetic field in apartment buildings with built-in transformer stations in Hungary	Radiation Protection Dosimetry	1,916
Áustria	Leitbeg, N. / 2008	Magnetic emission ranking of electrical appliances. A comprehensive market survey	Radiation Protection Dosimetry	1,916
Estados Unidos	Taha, H. / 2010	Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat	Energy and Buildings	3,666
Europa	Joseph, W. et al., / 2010	Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe	Environmental Research	4,134
Áustria	Tomitsch, J. / 2010	Survey of Electromagnetic Field Exposure in Bedrooms of Residences in Lower Austria	Bioelectromagnetics	1,583
Suíça	Roosli, M; Mezei, G., et al. / 2011	Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer station in Switzerland	Science of The Total Environment	3,976
Israel	Hareuveny, R; Mezei, G. / 2011	Exposure to 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations in Israel	Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology	3,141
Israel	Yitzhak, N.; Hareuveny, R./ 2012	Time dependence of 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations	Radiation Protection Dosimetry	1,916
Inglaterra	Doik, K. / 2013	Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure	Forest Research	1,929
Israel	Kandel, S.; Hareuveny, R. / 2013	Magnetic field measurements near stand-alone transformer stations	Radiation Protection Dosimetry	1,916
Suíça	Huss et al., / 2013	Does apartment's distance to an in-built transformer room predict magnetic field exposure levels?	Science of the total Environmental	3,976
França	Zaryabova, V. / 2013	Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects	Electromagnetic Biology and Medicine	1,208

Alemanha	Merzenich, H. / 2014	Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Fields From Broadcast Transmitters and Risk of Childhood Cancer: A Census-based Cohort Study	American Journal of Epidemiology	5,036
Europa	Grellier et al. / 2014	Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe	Environment International	5,929
Índia	Bakarman, M. / 2015	The influence of height/width ratio on urban heat island in hot-arid climates	Science of the total Environmental	3,685
China	Qin, Y. / 2016	A side by side comparison of the cooling effect of buildings blocks with retro-reflective and diffuse-reflective walls	Science of the total Environmental	3,976
Suíça	Huss, A. / 2016	Novel Exposure Units for at-Home Personalized Testing of Electromagnetic Sensibility	Science of the total Environmental	3,976
Estados Unidos	Elwood, M. / 2017	Epidemiological studies of low-intensity ELF fields and diseases in humans	Non-ionizing Radiation Protection: Summary of Research and Policy Options	3,276

Fonte: Dados de pesquisa (2017)

3.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que a grande maioria dos estudos envolvendo a temática em epígrafe não se concentra no Brasil. Poucos estudos sobre o tema estão sendo realizados em países em desenvolvimento, resultando assim em poucas publicações. Dos estudos apresentados nenhum deles refere-se a morfologia urbana como fator de agravo na incidência de elevação dos níveis de radiação não ionizante nos ambientes residenciais.

Há estudos em diversos países europeus que tratam da exposição residencial à RNI de extrema baixa frequência, mais especificamente na frequência da rede elétrica local. No Brasil algumas características divergem dos outros países quanto à morfologia urbana e à própria distribuição de energia elétrica na frequência de 60Hz. O impacto de algumas dessas características não é observado nos estudos realizados por pesquisadores internacionais, mas são apresentadas nesta dissertação de maneira não tão abrangente, mas que poderiam em estudos futuros ser investigados com maior profundidade no que tange a relação entre a elevação dos níveis de radiação de baixa frequências nos ambientes

residenciais adjacentes a transformadores e o crescimento da edificação vertical em diversas áreas urbanas das cidades brasileiras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse capítulo abordará os métodos adotados assim como os instrumentos utilizados para a consecução da pesquisa, descrevendo sequencialmente cada fase desde a construção do embasamento teórico até os métodos de análise estatística.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

De acordo com a natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada, pois objetiva a investigação de hipóteses sugeridas por modelos teóricos, cujo principal interesse dá-se no âmbito da aplicação, utilização e consequências práticas do conhecimento (GIL, 2008). Com relação à abordagem, esta pesquisa classifica-se como quantitativa. Neste sentido, Martins (2010) afirma que não existe interferência do pesquisador nas variáveis pesquisadas, e quando há, são mínimas, sendo suas evidências capturadas pela mensuração e uso da linguagem matemática.

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa explicativa que se preocupa em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê dos fatos através dos resultados obtidos (GIL, 2008).

No que tange aos procedimentos metodológicos, trata-se de uma pesquisa de caráter bibliográfico e experimental. A pesquisa bibliográfica é realizada a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros e artigos científicos. O estudo experimental segue um planejamento rigoroso. As etapas da pesquisa iniciam pela formulação exata do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que atuam no fenômeno estudado. Segundo Gil (2008), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

As variáveis que foram analisadas neste estudo possuem dois eixos fundamentais: campo magnético de baixa frequência e algumas características morfológicas urbanas, os quais estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis do estudo.

Variáveis	
Campo eletromagnético de baixa frequência RNI (μT)	Transformador de energia elétrica; Equipamentos eletroeletrônicos; Sistema de climatização; Wi-Fi; Distância transformador de energia-edificação
Características morfológicas urbanas	Entorno da edificação; Fator visão do céu.

Fonte: dados de pesquisa (2017)

Os níveis de radiação não-ionizante foram mensurados para avaliar a emissão das fontes do campo magnético nas residências. O levantamento de algumas das características morfológicas do meio urbano foi de fundamental importância pois possibilita investigar a influência exercida pelas características do entorno da edificação no aumento do nível de radiação não ionizante nos ambientes das edificações investigadas.

4.3 COLETA DE DADOS

4.3.1 Mensuração de campo magnético

A coleta dos dados de campo magnético foi realizada em ambientes (sala, quarto, cozinha e sala-cozinha) de prédios de habitação classificadas como elegíveis para pesquisa, sendo estes ambientes localizados em residências verticais que apresentem subestações de transformadores de energia elétrica internos às edificações.

A medição de radiação não-ionizante foi realizada em três períodos de amostragem (manhã, tarde e noite). Os dados das amostras estão sistematizados na tabela 2, onde AAT são apartamentos adjacentes ou não aos transformadores de energia elétrica.

Tabela 2 – Perfil da amostra

Cidade/Bairro	Pavimento (andar)	Ambientes analisados	AAT
João Pessoa/Tambaú	1º	Quarto, Cozinha e Sala	Sim
João Pessoa/Cabo Branco	1º	Quarto e Sala-Cozinha	Sim
João Pessoa/Bancários	1º	Quarto e Sala-Cozinha	Sim
João Pessoa/Manaíra	1º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
João Pessoa/Manaíra	5º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
João Pessoa/Manaíra	5º	Quarto, Cozinha e Sala	Não
João Pessoa/Estados	12º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
João Pessoa/Jardim Luna	15º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
João Pessoa/Intermares	2º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
Teresina/Horto	3º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
Teresina/Ininga	1º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
Teresina/Piçarreira	1º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
Manaus/Aleixo	2º	Quarto e Sala-Cozinha	Sim
Manaus/Centro	2º	Quarto e Sala-Cozinha	Não
Brasília/Gama	5º	Sala	Não
Brasília/Águas Claras	1º	Sala	Sim
Brasília/Águas Claras	20º	Quarto, Cozinha e Sala	Não
Brasília/Águas Claras	2º	Quarto, Cozinha e Sala	Não
Joinville/Floresta	5º	Sala	Não

Fonte: dados de pesquisa (2017)

As medições ocorreram nos meses de novembro (2016), março (2017), abril (2017), maio (2017), julho (2017), setembro (2017) e outubro (2017) em residências verticais nas cidades de João Pessoa, Brasília, Manaus, Teresina e Joinville. O número de

ambientes avaliados em cada apartamento variou de um a três, a depender do *layout* interno, da área, do número de acessos, bem como do número de cômodos de residência. Para apartamentos do tipo *flat* foram analisados apenas o ambiente “sala”. Nas residências com áreas até 50 m² foram analisados os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. Nos apartamentos de áreas superiores à 50m² foram analisados os ambientes “quarto”, “sala” e “cozinha”.

Os dados de campo magnético foram obtidos mediante o uso do aparelho “*Spectran NF-5035*” no intervalo de frequência de 1-100 Hz. Para cada ambiente foi analisada a intensidade de campo magnético, e o equipamento foi instalado primeiramente junto à porta de entrada de cada ambiente, com o objetivo de medir todo o campo magnético de baixa frequência que possa também advir de outros ambientes da mesma edificação. Foi analisada a frequência de 60 Hz, a qual compreende a frequência da rede elétrica local. No segundo momento, curvas de níveis foram preestabelecidas em cada ambiente, no sentido de determinar o maior nível de radiação não-ionizante. Assim, o aparelho “*Spectran NF-5035*” foi instalado no ponto central da curva que apresentou maior nível de radiação não ionizante no ambiente. Estes dois procedimentos permitiram mensurar os níveis de radiação dos outros ambientes da edificação, e mensurou o real valor do nível de radiação em cada ambiente daquela edificação.

4.3.2 Mapeamento dos dados de leucemia infantil

Tendo em vista que há publicações que associam o aumento de RNI em ambientes residenciais ao surgimento de leucemia infantil coletou-se informações sobre esta doença através do Instituto Nacional do Câncer (INCA), com o auxílio do Registro de Câncer de Base Populacional (RCBP) para cada cidade analisada. Foram obtidos registros quanto à tipologia da leucemia infantil, a faixa etária dos pacientes enfermos, sexo dos portadores da doença, a localização primária da leucemia, histologia e a quantidade de casos de leucemia infantil em cada cidade onde foram mensurados os níveis de RNI entre os anos de 2005 a 2012.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

4.4.1 Análise estatística dos níveis de intensidade de RNI

Os procedimentos de análises dos dados foram realizados com recurso aos *softwares R Project 3.1.1* (Rafael, 2016), obedecendo as seguintes etapas:

1. Foram realizadas análises descritivas de dados a partir de medidas de tendência central para compreensão das suas variabilidades;
2. Gráficos *box plot* foram construídos para avaliação da distribuição empírica dos dados;
3. Testes estatísticos de Kruskal Wallis e Mann-Whitney (dados não contínuos) com $\alpha = 0,05$ foram utilizados para análises das diferenças significativas entre os níveis de radiação não ionizante dos ambientes;
4. Gráficos de dispersão foram construídos para analisar em que período do dia há no ambiente uma maior intensidade do fluxo do campo magnético;
5. Análise do comportamento da distribuição acumulada dos dados para verificar a frequência e intensidade do campo eletromagnético de baixa frequência (CEBF);
6. Gráficos de linha para análise da oscilação do campo magnético em curtos períodos de tempo.

4.4.2 Análise das variáveis de morfologia urbana

Naquelas edificações onde seus ambientes apresentaram elevações nos níveis de RNI e oscilações representativas em certos intervalos de tempo, necessitou-se de uma análise do entorno dessas edificações. Para tanto utilizou-se bases de dados cartográficas das prefeituras das cidades, disponibilizados no formato *dwg*, assim como imagens de geoprocessamento disponibilizadas pela *Google Earth*, para identificar o tecido urbano, linhas de contorno topográficas, área construída e vegetação. Os dados foram reunidos e analisados usando o *software Autocad (Autodesk)*, versão 2016. Foram construídos mapas de classificações usando indicadores descritivos, tais como número de edifícios, área construída total, densidade de edificações e tamanho dos edifícios para investigar a

influência exercida pelas características do entorno da construção nos índices de RNI presentes nos ambientes residenciais.

Foram construídos modelos 3D da área analisada usando a plataforma *Google SketchUp* 2016. O modelo foi usado como parte da análise, especialmente para definir o indicador de densidade urbana e parâmetros do FVC (Fator Visão do Céu).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo reserva-se à apresentação e discussão dos resultados apresentados na pesquisa a partir dos procedimentos metodológicos descritos no capítulo anterior com foco em alcançar o objetivo principal e os objetivos específicos deste trabalho.

Com a finalidade de caracterizar o campo de pesquisa, inicialmente foi realizada uma apresentação das características das cidades onde as edificações verticais presentes na pesquisa encontram-se inseridas. Em seguida, serão apresentados e discutidos os resultados referentes à comparação dos níveis de radiação não ionizante entre os ambientes residenciais.

Após esta etapa, será analisado o comportamento da distribuição acumulada da RNI em termos de probabilidade para todas as residências analisadas. Por fim, será analisado e discutido o comportamento dos CMEBF ao longo do tempo, observando os possíveis riscos relacionados à saúde dos indivíduos moradores destas residências.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE PESQUISA

As residências de edificações verticais (REV) analisadas estão inseridas em ambientes urbanos com características próprias seguindo o padrão de morfologia urbana de cada cidade. Os tópicos subsequentes retratarão algumas particularidades urbanas nas quais as RV se encontram situadas.

5.1.1 João Pessoa

É uma cidade litorânea, com clima tropical úmido e índices relativamente elevados de umidade do ar. As temperaturas médias anuais se situam em torno dos 26 °C. No verão, a temperatura pode alcançar 33 °C à sombra, e no inverno, 22 °C. Os períodos de chuva se concentram entre os meses de abril e julho (INPE, 2016). A cidade apresenta população estimada, em 2017, de 811.598 habitantes. Já a densidade demográfica é de 3.421,28 hab/km².

Dentre os bairros desta cidade, conforme tabela 2, apenas os de Manaíra, Bancários, Cabo Branco e Tambaú são considerados ilhas de calor. Isso ocorre em função

dos tipos de materiais empregados para pavimentação e cobertura do solo associado ao aumento da área edificada nesses bairros e sua urbanização, que compromete a cobertura vegetal desses ambientes (SANTOS, 2012).

5.1.2 Teresina

Apresenta um clima tropical semi-úmido, com temperatura média anual de 28 °C e é considerada uma das capitais mais quentes do Brasil, com temperaturas máximas que ultrapassam 40 °C. Segundo Andrade (2016) a latitude na qual se encontra a cidade é um fator preponderante na caracterização do clima, pois interfere diretamente nas características e distribuição espacial e temporal da radiação solar, pressão atmosférica, precipitação e da temperatura do ar. O período no qual o calor é mais intenso vai de setembro a meados de dezembro (INPE, 2016).

De acordo com Feitosa (2011), dentre os bairros analisados nessa pesquisa para a cidade de Teresina, conforme tabela 2, os bairros do Horto, Ininga e Piçarreira não podem ser considerados Ilhas de calor, pois tratam-se de bairros com pouca densidade de edificações. Com população estimada em 2017 de 814.230 habitantes e densidade demográfica de 584,94 hab/km², a cidade de Teresina apresenta uma densidade populacional duas vezes inferior à da capital paraibana João Pessoa.

5.1.3 Manaus

O clima desta cidade é tropical úmido, com temperatura média anual de 27 °C e umidade relativa do ar elevada durante todo o ano, com médias mensais de 88%. As estações do ano são relativamente bem definidas no que diz respeito à chuva: o inverno é relativamente seco, e o verão, chuvoso. Devido à proximidade com a linha do Equador, o calor é constante. A proximidade com a floresta normalmente evita extremos de calor e torna a cidade úmida (MONTEIRO *et al.*, 2014).

Possui população estimada em 2.130.264 habitantes e densidade demográfica de 158,06 hab/km². Devido à sua grande área de unidade territorial (11.401,092 km²), Manaus apresenta densidade populacional menor que Teresina e João Pessoa.

Em pesquisa realizada por Wagner (2013), o bairro do Aleixo, onde foram realizadas medições de RNI neste estudo está localizado na região Centro-Sul de Manaus, e é considerado a maior ilha de calor urbana da cidade. Wagner (2013) relata que devido à grande concentração de materiais impermeáveis, como concreto, asfalto e pavimentos, o bairro do Aleixo é a região da cidade onde esse fenômeno é percebido de forma mais acentuada.

5.1.4 Brasília

Está localizada na região Centro-Oeste do país, ao longo da região geográfica conhecida como Planalto Central. Segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para 2017, sua população é estimada em 4.284.676 em sua área metropolitana, sendo, então, a terceira cidade mais populosa do país. Brasília é também a quinta concentração urbana mais populosa do Brasil.

As cidades satélites Águas Claras e Gama fazem parte da região metropolitana de Brasília. Ambas as regiões apresentam clima tropical semi-úmido, com duas estações bem definidas: o verão e o inverno. A temperatura média é de 21° C e a precipitação pluviométrica é de mais ou menos 1.750 mm. A umidade relativa do ar, oscila em 60% (sessenta por cento), chegando a menos de 20% (vinte por cento) em alguns períodos da tarde, dos meses de julho e agosto (INPE, 2016).

A cidade de Águas Claras foi inicialmente projetada para ser habitada apenas por moradores em residências verticais. Trata-se de uma área de índices muito altos de densidade de edificações, o que possibilita a troca de energia térmica dos edifícios entre si (MOREIRA, 2015). Na cidade do Gama, a residência da edificação vertical analisada se encontra no setor Leste da cidade, caracterizado pelo comércio e indústria, onde a densidade de edificações é baixa quando comparada à outros setores da própria cidade (PELUSO, 2014).

5.1.5 Joinville

A cidade de Joinville, como todo o estado de Santa Catarina, apresenta clima subtropical. Entretanto, devido à sua baixa altitude média (verificada como sendo de

quatro metros), praticamente a nível do mar, apresenta, em média, temperaturas mais elevadas do que o interior catarinense, principalmente nas regiões de maior altitude do estado. O mês mais quente é janeiro, com temperatura média em torno de 25 °C, e o mês mais frio é julho, de 17 °C. As precipitações são abundantes durante todo o ano, ocorrendo como frequência no verão (INPE, 2016).

A população estimada de Joinville em 2017, segundo o IBGE, é de 577.077 habitantes e densidade populacional de 457,58 hab/km². Na cidade foi analisada uma residência de uma edificação vertical no bairro de Floresta.

O bairro de Floresta foi o único analisado na cidade de Joinville, conforme tabela 2. Este bairro se caracteriza por ser uma ilha de calor. Trata-se de uma área da cidade com pouca densidade populacional e de edificações. O bairro de Floresta é uma área turística com predomínio de áreas verdes na cidade. Os bairros que se apresentam como ilhas de calor e que demonstram os maiores índices de urbanização encontram-se nos bairros da Zona Norte. (STEIN, 2017).

O tópico subsequente trata da comparação dos níveis de RNI em cada ambiente nas residências localizadas nas cidades citadas acima.

5.2 COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE ENTRE OS AMBIENTES DE CADA RESIDÊNCIA

Tendo em vista que os avanços tecnológicos permitiram que um número cada vez maior de equipamentos eletroeletrônicos passasse a fazer parte da rotina das pessoas, tanto no espaço de convívio doméstico, como também nos locais de trabalho, cresceu o número de pesquisas referentes aos efeitos da exposição das pessoas à radiação não-ionizante de extrema baixa frequência nos mais diversos ambientes.

Em geral, as fontes de campos magnéticos (CM) em residências dividem-se em duas categorias: fontes que produzem campos magnéticos que se estendem para além da área imediata que rodeia a fonte (por exemplo, linhas de alimentação e distribuição); e fontes locais, nas quais o campo magnético está essencialmente confinado a um espaço restrito, a uma pequena distância da fonte (aparelhos eletroeletrônicos, painéis elétricos) (CAMARA, 2014).

No ambiente residencial devido a particularidade de *layout* e da densidade de eletroeletrônicos de cada ambiente, se faz necessário uma análise comparativa entre os ambientes a fim de poder detectar qual deles apresenta uma maior exposição à radiação não ionizante. Os tópicos subsequentes avaliam a RNI na frequência de 60 Hz que se propaga nos ambientes “quarto”, “cozinha”, “sala” e “sala-cozinha” para todas as residências analisadas, conforme tabela 2. A ordem das residências a seguir foi estabelecida de acordo com o período de coleta de dados em cada um dos apartamentos.

5.2.1 Residência 1 – 1º pavimento no bairro de Tambaú, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu entre os dias 28-31/10/2016. A residência da edificação vertical no bairro Tambaú é adjacente ao transformador de energia elétrica da edificação, conforme é apresentado na tabela 2. A tabela 3 apresenta os valores de média, valores máximos e desvio padrão dos níveis de intensidade RNI para os ambientes analisados na residência.

Tabela 3 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente

Ambiente	Média(μ T)	Valor máx.(μ T)	Desvio padrão (μ T)
Quarto	1,54	2,88	0,391
Cozinha	1,56	1,75	0,094
Sala	1,41	1,42	0,003

Fonte: dados de pesquisa (2017)

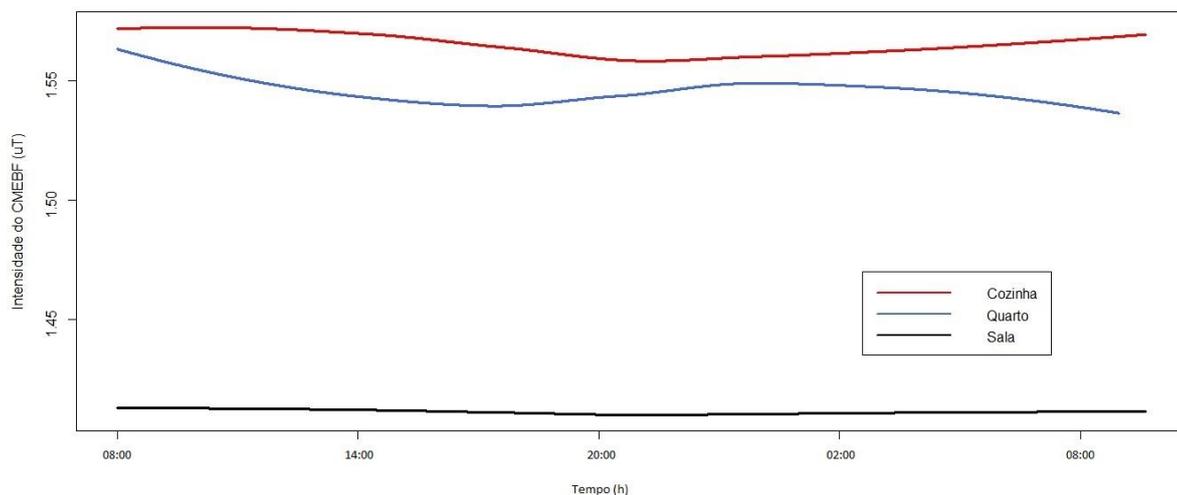
A intensidade do campo magnético em todos os ambientes da residência sempre foi superior a $0,4 \mu$ T, o que corrobora com os estudos realizados pelos autores Ilonen (2008), Roosli (2011), Hareuveny (2011) e Grellier (2014), onde estes afirmaram que apartamentos localizados no primeiro andar adjacentes à transformadores de energia apresentam níveis de RNI superiores a $0,4 \mu$ T em média. Essa exposição residencial por períodos longos de tempo podem causar problemas epidemiológicos aos moradores, principalmente no que diz respeito a problemática da leucemia infantil (ELWOOD, 2017).

O ambiente “cozinha” apresentou em média níveis de intensidade de RNI de 1,56 μT , com desvio padrão de 0,094 μT , de acordo com a tabela 3. Este índice elevado de RNI deve-se à maior densidade de utensílios eletroeletrônicos, os quais são fontes internas emissoras de CMEBF que são responsáveis pelo acréscimo de RNI em um ambiente (STRUCHEN, 2015).

O ambiente “quarto” apresentou média de 1,54 μT e desvio padrão de 0,391 μT . Observa-se, conforme tabela 3, que o desvio padrão neste ambiente é superior aos demais analisados, o que pode ser explicado pela proximidade do ambiente (10 metros) à um transformador de energia elétrica externo ao nível da via pública. Sabe-se que a proximidade do ambiente residencial à transformadores de energia acarreta em uma maior oscilação nos níveis de RNI de baixa frequência (YITZHAK, 2012). Constatou-se neste ambiente os maiores picos de intensidade de RNI entre os ambientes da residência analisados, em torno de 2,88 μT , o que de fato influencia no aumento da média de exposição do ambiente e do seu respectivo desvio padrão, o que faz com a média deste ambiente não seja tão representativa quando comparada aos demais.

O ambiente “sala” apresentou média de 1,41 μT e desvio padrão de 0,003 μT , o que indica um comportamento quase que constante nos níveis de intensidade de RNI ao longo do tempo. Aplicando o teste estatístico não paramétrico de Kurskall-Wallys ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) percebe-se que há diferença significativa entre os níveis de RNI na frequência de 60 Hz entre os ambientes. Observa-se na figura 12 que o ambiente “cozinha” possui em média níveis de RNI superiores aos outros ambientes “quarto” e “sala” ao longo do tempo, o que é explicado pelo fato do ambiente “cozinha” possuir maiores fontes de emissão de RNI devido a maior densidade de equipamentos eletrodomésticos, além de se localizar sob o transformador de energia elétrica interno da edificação.

Figura 11 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes- Tambaú



Fonte: dados de pesquisa (2017)

5.2.2 Residência 2 – 1º pavimento no bairro de Cabo Branco, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 01-03/11/2016. Devido às condições de *layout* e da área do apartamento, bem como a acessibilidade por parte dos moradores aos ambientes domésticos, a mensuração de RNI nesta residência ocorreu nos ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A residência vertical situada no bairro do Cabo Branco trata-se de um apartamento localizado no primeiro andar e adjacente à subestação interna de transformador de energia da edificação.

A tabela 4 apresenta os valores de média, desvio padrão, e valores máximos de RNI na frequência de 60 Hz para os ambientes analisados. As intensidades dos CMEBF para todos os ambientes são superiores à $0,4\mu\text{T}$ o que pode implicar em riscos à saúde dos moradores que passam longos períodos de tempo nestes ambientes (STRUCHEN, 2015). O ambiente Cozinha foi o que apresentou a maior média de intensidade de exposição à RNI na frequência de 60 Hz. Através do teste estatístico de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 3,15 \times 10^{-5}$) observou-se diferença significativa entre os níveis de RNI na frequência de 60 Hz nos ambientes, o que é evidenciado também pela tabela 4.

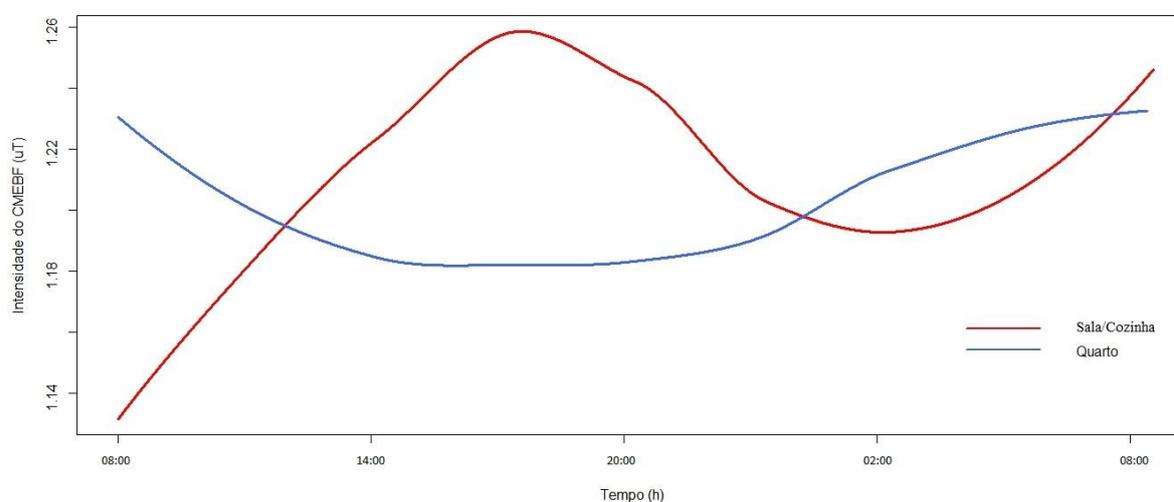
Tabela 4 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Cabo Branco

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Sala-Cozinha	1,25	2,94	0,39
Quarto	1,22	2,75	0,38

Fonte: dados de pesquisa (2017)

Através da figura 13 percebe-se que o ambiente “sala-cozinha” apresenta níveis médios de intensidade de RNI inicialmente de $1,13 \mu\text{T}$ às 08:00h. Ao longo do tempo os níveis médios de intensidade de RNI seguem crescendo de maneira constante até atingirem intensidade média de $1,26 \mu\text{T}$ por volta das 18:00h. Após esse período nota-se um decréscimo dos níveis de RNI neste ambiente. No período de 18:00 a 02:00h os níveis médios de intensidade de RNI é de $1,26 \mu\text{T}$ a $1,19 \mu\text{T}$. A partir deste instante há um novo acréscimo nos níveis médios de RNI, onde por volta das 07:00h têm-se novamente intensidade média de RNI superior a $1,22 \mu\text{T}$.

Figura 12 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes - Cabo Branco



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Os níveis médios de intensidade de RNI no ambiente “sala-cozinha” variam em função da proximidade do ambiente em relação ao transformador de energia elétrica interno à edificação, bem como da densidade de eletroeletrônicos presentes na cozinha e

sala da residência. Observou-se que as maiores intensidades médias de RNI neste ambiente ocorreu no período das 18:00h, muito provavelmente em função do uso de aparelhos eletrodomésticos presentes na cozinha em conjunto com os eletroeletrônicos presentes na sala da residência, tais como televisão, sistema de ventilação e computadores.

No ambiente “quarto”, os maiores níveis de RNI ocorreram no período das 08:00h, com intensidade média de $1,23 \mu\text{T}$. Essa intensidade segue decrescendo de forma constante neste ambiente até $1,18 \mu\text{T}$, às 14:00h. Os níveis de RNI seguem praticamente sem variação até as 21:00 h, onde há novamente um acréscimo na intensidade de RNI. Percebe-se que a presença dos moradores e a consequente utilização de fontes emissoras de CMEBF nos ambientes residenciais influenciam diretamente no acréscimo dos índices de RNI em cada ambiente. Ainsburry (2005) afirma que o “quarto” é o ambiente residencial mais utilizado pelos moradores, principalmente no período noturno. Percebe-se que há um acréscimo nos índices médios de RNI a partir das 21:00h até as 08:00h da manhã do dia seguinte, o que ressalta o fato do morador possivelmente está fazendo uso de fontes emissoras de RNI de baixa frequência, tais como aparelhos de climatização e utensílios eletroeletrônicos, os quais se faziam presentes neste ambiente.

A exposição dos ambientes residenciais foi em média sempre superior ao limite de $0,4 \mu\text{T}$, o que corrobora com o que é evidenciado na literatura para as residências adjacentes à transformadores de energia elétrica (HAREUVEVY, 2011; KANDEL, 2013; ROOSLI, 2011). O morador que passa maior parte do seu tempo no interior de ambientes residenciais com intensidades superiores à $0,4 \mu\text{T}$ pode estar susceptível ao desenvolvimento de distúrbios provocados pela exposição a RNI de baixa frequência (PAVLIK, 2017).

5.2.3 Residência 3 – 1º pavimento no bairro dos Bancários, João Pessoa

A residência no bairro dos Bancários também se caracteriza por ser um AAT localizado no primeiro andar da edificação. A coleta de dados ocorreu nos dias 24-27/03/2017; a tabela 5 apresenta os valores de média, máximo e desvio padrão para os ambientes analisados na residência. No AAT no bairro dos Bancários, de forma análoga

ao que ocorreu no AAT em Cabo Branco, foram analisados os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”, devido a acessibilidade e área da residência.

Os níveis médios de RNI na frequência de 60 Hz no ambiente “sala-cozinha” (1,20 μT) foram superiores ao do ambiente “quarto” (1,18 μT), conforme apresenta a tabela 5. Os desvios padrões das médias dos dois ambientes são baixos, o que torna a média representativa e indica que a oscilação dos níveis de RNI ocorrente nos dois ambientes não foram tão significativas quanto nos AAT analisados anteriormente. O teste de Mann-Whitney demonstra que há diferenças entre os níveis de RNI dos ambientes ($p\text{-value} = 2,18 \times 10^{-5}$).

Tabela 5 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Bancários

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,18	2,65	0,033
Sala-Cozinha	1,20	2,85	0,036

Fonte: dados de pesquisa (2017)

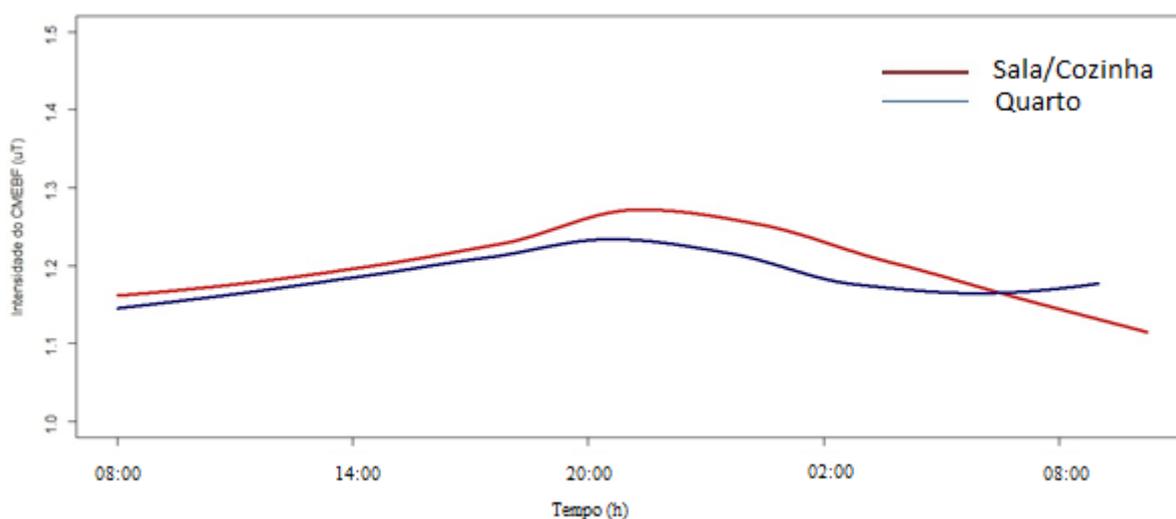
O comportamento da intensidade dos níveis de RNI ao longo do tempo são similares com os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. Os maiores valores em média de RNI para ambos os ambientes ocorrem no período noturno por volta das 20:00h, aproximando-se em média a 1,3 μT para o ambiente “sala-cozinha” e 1,25 μT para o ambiente “quarto”, conforme ilustra a figura 14.

Através da figura 14 é possível observar que o ambiente “sala-cozinha” apresenta exposição à RNI sempre superior ao ambiente “quarto”, exceto em um determinado período do dia (06:00 às 08:00h). Neste período, o ambiente “quarto” apresenta intensidade de RNI crescente de 1,7 a 1,9 μT , enquanto que o ambiente “cozinha” se caracteriza pelo decréscimo de 1,7 a 1,1 μT .

Conforme já foi discutido, os acréscimos dos níveis de RNI em um ambiente residencial pode estar diretamente relacionado à proximidade do ambiente ao transformador de energia elétrica e as suas respectivas linhas de transmissões, da densidade de eletroeletrônicos presentes no ambiente, bem como de variáveis de morfologia urbana, nas quais a residência encontra-se inserida. Tendo em vista que o

ambiente “quarto” superou o ambiente “sala-cozinha” para um determinado período do dia (06:00 às 08:00h), mesmo apresentando uma menor quantidade de fontes emissoras de CMEBF, e nesse período possivelmente no ambiente “sala-cozinha” não estaria havendo uso dos equipamentos eletrodomésticos, o que possibilitaria os níveis médios encontrados no ambiente “quarto” serem superiores ao ambiente “sala-cozinha”.

Figura 13 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes - Bancários



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Para ambos ambientes analisados, os níveis de RNI são superiores ao limite $0,4 \mu\text{T}$ recomendado pelos pesquisadores, o qual caracteriza um ambiente residencial como uma localidade de risco para seus moradores (ILONEN, 2008; THUROCZY *et al.*, 2008, HUSS, 2013). Essa exposição por longos períodos de tempo pode estar associada a uma série de problemas de caráter epidemiológicos (ELWOOD, 2017), que vão desde distúrbios físicos, neurológicos, psíquicos e comportamentais (CALVENTE, 2010).

5.2.4 Residência 4 – 1º pavimento no bairro de Manaíra, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 02-03/04/2017. Essa residência, apesar de situada no 1º andar, não se encontra adjacente ao transformador de energia elétrica interno à edificação. Os níveis de RNI, na frequência de 60 Hz, para residências que não são

adjacentes à transformadores sempre foram inferiores aos AAT para todas as residências analisadas nesta pesquisa. A tabela 6 apresenta os valores de média, máximo e desvio padrão para os ambientes analisados desta residência.

Tabela 6 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 4

Ambiente	Média(μ T)	Valor máx.(μ T)	Desvio padrão (μ T)
Quarto	1,089	1,33	0,001
Sala/cozinha	1,108	1,49	0,007

Fonte: dados de pesquisa (2017)

O ambiente “sala-cozinha” apresentou média de intensidade de RNI de 1,108 μ T e desvio padrão de 0,007 μ T. O ambiente “quarto” apresentou média de 1,089 μ T e desvio padrão de 0,001 μ T, conforme tabela 6. Mas apesar das residências que não são adjacentes à transformadores de energia elétrica apresentarem níveis de intensidade de RNI inferiores aos AAT, elas ainda demonstram índices de exposição bem superiores ao limite recomendado pelos estudos epidemiológicos de 0,4 μ T (ROOSLI, 2012; HUSS *et al.*, 2013; KANDEL *et al.*, 2013; ELWOOD *et al.*, 2017).

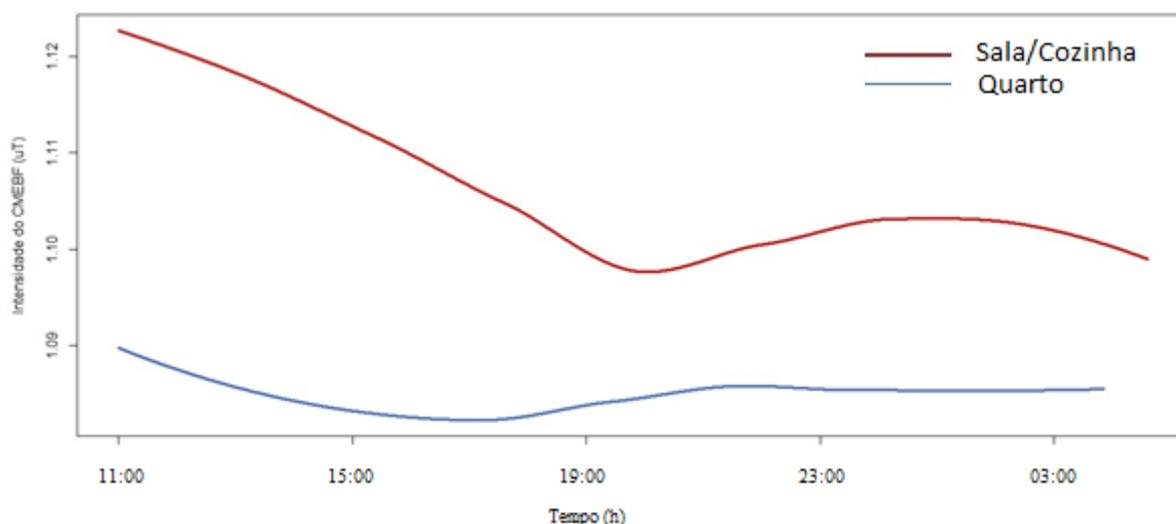
É importante ressaltar que de acordo com os parâmetros normativos vigentes estabelecidos pela ICNIRP (1998), o limite de exposição dos moradores à RNI para faixas de frequências de 1-100 Hz em ambientes residenciais é de 100 μ T. Contudo, nas últimas duas décadas diversas pesquisas internacionais, financiadas inclusive pelo próprio ICNIRP (a exemplo do projeto *TRANSEXPO*), alertam para o fato de que este limite pode estar completamente defasado, principalmente no que diz respeito à associação da RNI de baixa frequência à possibilidade do surgimento da leucemia infantil, pois estudos epidemiológicos ressaltam que a exposição a longo prazo a CMEBF pode duplicar o risco do surgimento da leucemia infantil (AHLBOM *et al.*, 2000).

A ICNIRP (2010), em suas diretrizes já divulgadas, tem programado para o ano de 2020 um novo relatório tendo como base toda fundamentação advinda de pesquisas nas últimas duas décadas para discussão de uma reavaliação dos limites de exposição até então estabelecidos há 20 anos atrás, devido principalmente à problemática envolvendo a leucemia infantil. Através de levantamento dos casos de leucemia realizados na cidade de João Pessoa, os quais serão discutidos mais adiante na seção 5.5, percebeu-se que o bairro

Manaíra, onde está localizado essa residência apresentou proporcionalmente os maiores índices de ocorrência da doença na cidade.

O bairro em questão trata-se de uma ilha de calor (SANTOS, 2012) e constatou-se que para as três residências analisadas, apesar de nenhuma ser adjacente à transformador de energia elétrica, os níveis de intensidade média de RNI foram elevados. A figura 15 demonstra que o ambiente “sala-cozinha” foi sempre superior em média ao ambiente “quarto” durante todo o período do dia, o que é justificado devido a maior densidade de eletroeletrônicos no ambiente. Por se tratar de uma residência que não é AAT, a influência dos CMEBF provenientes do transformador é diminuída (KANDEL, 2013), desta forma a variação nos níveis de RNI em cada ambiente pode sofrer mais influência das fontes internas emissoras de RNI e dos entornos das edificações.

Figura 14 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes.



Fonte: dados de pesquisa (2017)

O ambiente “sala-cozinha” apresentou níveis médios de intensidades de RNI variando de 1,10 a 1,12 μ T enquanto que os níveis de RNI no ambiente “quarto”, em média, não ultrapassam 1,09 μ T no mesmo período. No ambiente “sala-cozinha” observou-se maiores valores de RNI por volta das 11:00h, horário em que possivelmente houve uso de equipamentos eletrodomésticos.

5.2.5 Residência 5 – 5º pavimento no bairro de Manaíra, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 04-05/04/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência o ambiente “sala-cozinha” apresentou média de 1,086 μT e desvio padrão de 0,005 μT , o que confirma a baixa oscilação nos níveis médios de RNI em residências que não são AAT. O ambiente “quarto” apresentou média de 1,075 μT e desvio padrão de 0,008 μT , conforme tabela 7 e figura 16.

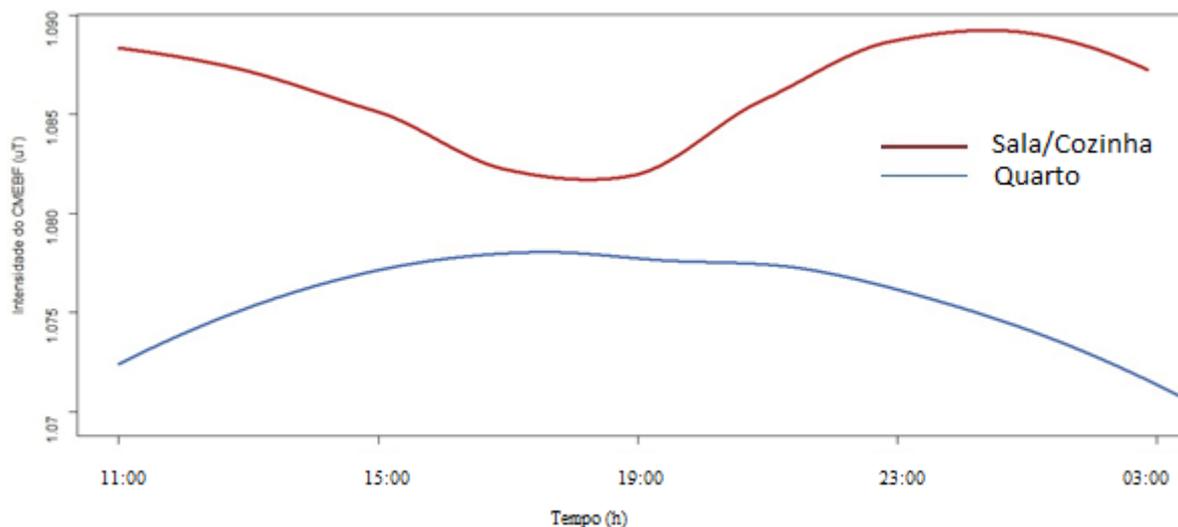
Tabela 7 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 5

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,075	1,25	0,008
Sala-Cozinha	1,086	1,22	0,005

Fonte: dados de pesquisa (2017)

Os níveis médios de intensidade de RNI no ambiente “sala-cozinha” variam, em média, em torno de 1,082 μT a 1,088 μT no período de 11:00 as 03:00h. Para o ambiente “quarto”, essa variação se dá no intervalo de 1,070 μT a 1076 μT para o mesmo período de tempo, conforme demonstra a figura 16.

Figura 15 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Apesar de situada no 5º pavimento e relativa distância ao transformador de energia elétrica da edificação, os ambientes residenciais apresentaram níveis de intensidade de RNI superiores ao limite recomendado na literatura (PAVLIK, 2017). De acordo com Hareuveny *et al* (2011), em estudo realizado na Europa, as residências que não se encontram no primeiro pavimento das edificações e não são AAT apresentaram níveis médios de RNI inferiores a 0,4 μ T. Entretanto, em todas as residências analisadas nessa pesquisa, sendo AAT ou não, os níveis médios de RNI, na frequência de 60 Hz, foram sempre superiores a 0,4 μ T.

5.2.6 Residência 6 – 5º pavimento no bairro de Manaíra, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 28-30/04/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. A tabela 8 apresenta os valores de média, desvio padrão e valores máximos, referentes aos ambientes analisados nessa residência. É importante ressaltar que devido às características do *layout*, acessibilidade e área dessa residência foi possível analisar os índices de RNI nos ambientes “cozinha”, “quarto” e “sala”.

Tabela 8 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Residência 6

Ambiente	Média(μ T)	Valor máx.(μ T)	Desvio padrão (μ T)
Quarto	1,103	1,61	0,005
Cozinha	1,110	1,48	0,004
Sala	1,112	1,67	0,005

Fonte: dados de pesquisa (2017)

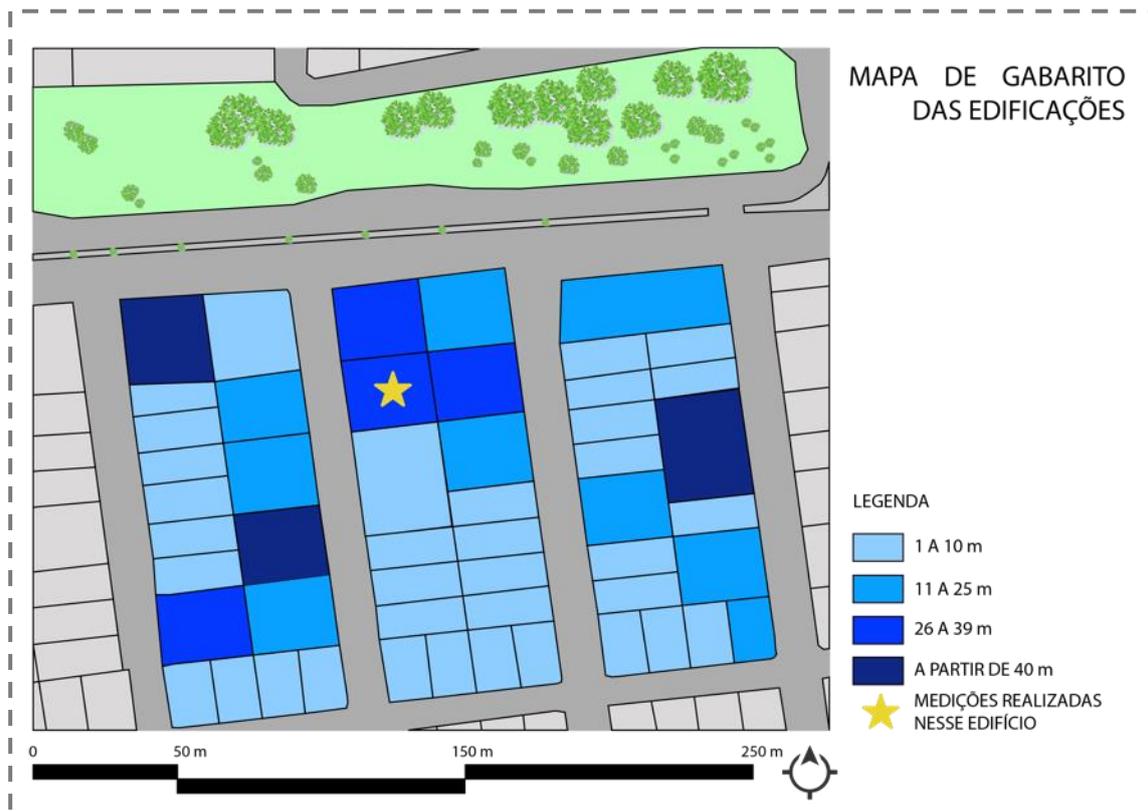
O nível médio de intensidade dos níveis de RNI no ambiente “cozinha” superou o ambiente “quarto”, mas não foi superior ao ambiente “sala”. Sabe-se que o ambiente “cozinha” tende a apresentar durante o dia exposição à CMEBF em média superior aos demais ambientes residenciais devido à presença de uma maior densidade de equipamentos eletrodomésticos quando comparado aos demais ambientes. Contudo, essa residência se localiza em uma área de alta densidade de edificações no bairro Manaíra, o qual é considerado a maior ilha de calor da cidade de João Pessoa (SANTOS, 2012). O

As figuras 18, 19, 20 e 21 auxiliam na melhor compreensão à dinâmica desse entorno. Na figura 18, o mapa de uso e ocupação do solo apresenta nitidamente a grande presença de edificações residenciais uni e multifamiliares, a distribuição de comércio e os serviços na área. Na figura 19 através do mapa de gabarito das edificações é possível observar a predominância de edificações mais baixas e a concentração de edifícios entre 11 a 25 m e 26 a 39 m de altura nas proximidades do edifício em estudo. Na figura 20 está representada as áreas permeáveis e presença de árvores, deixando de lado a grande área arborizada localizada ao norte da área em estudo; a existência de árvores é praticamente inexistente, e esse fato, aliado a alta porcentagem de área impermeabilizada, gera um aumento de temperatura nessa região. Por fim a figura 21 representa o adensamento urbano da área, através dele é possível notar a pouca distância existente entre as edificações, observando que as quadras são bem adensadas, quase não apresentando vazios.

Figura 17 - Mapa do uso e ocupação do solo



Fonte: Prefeitura de João Pessoa, 2017.

Figura 18 - Mapa do gabarito das edificações

Fonte: Prefeitura de João Pessoa (2017).

Figura 19 - Mapa de áreas verdes



Fonte: Prefeitura de João Pessoa, 2017.

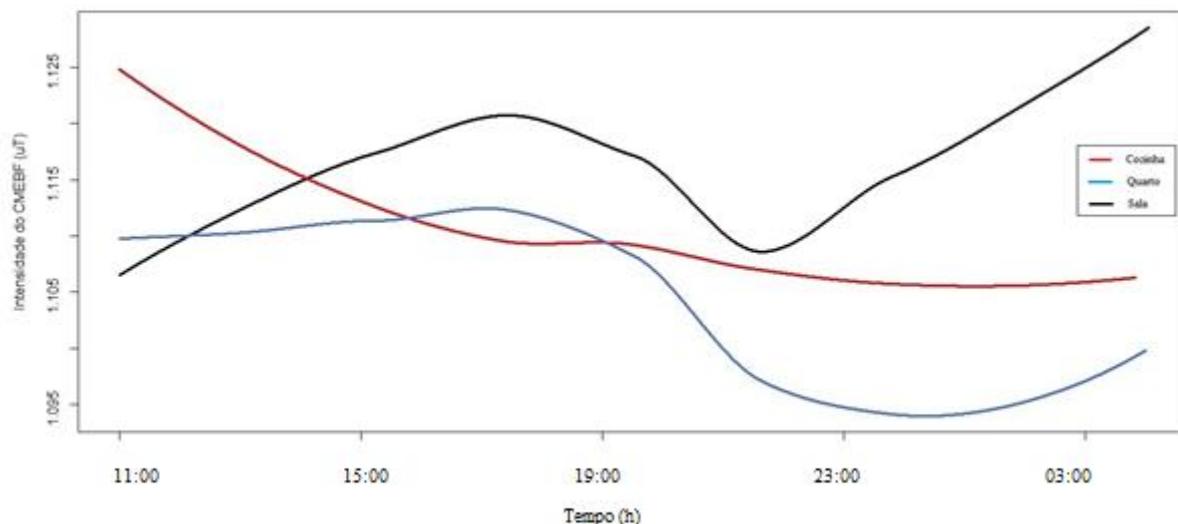
Figura 20 - Mapa de cheios e vazios



Fonte: Prefeitura de João Pessoa, 2017.

As características observadas na área em estudo corroboram com a afirmativa de que o bairro Manaíra se apresenta como uma intensa ilha de calor. Todos os parâmetros analisados, associados ao aumento da temperatura do ar, influenciam na formação do fenômeno ilhas de calor, que são o resultado cumulativo de modificações na cobertura do solo e na composição atmosférica, devido ao desenvolvimento urbano e às atividades antrópicas e muito comuns em grandes e médios centros urbanos. E esta concentração de edificações colaborou para o aumento dos níveis de RNI no ambiente “sala” da edificação analisada, apresentando níveis de intensidade de RNI superiores aos demais ambientes. Entre 13:00 e 20:00h, os níveis médios de RNI variaram de 1,120 a 1,110 μT , com uma maior elevação no período de 17:00h. A partir das 21:00h os níveis de RNI aumentam e superam 1,125 μT às 03:00h. Em todos esses períodos os níveis de RNI no ambiente “sala” superou os outros dois ambientes.

Figura 21 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes – “cozinha”, “quarto” e “sala”



Fonte: dados de pesquisa, 2017.

Por outro lado, enfatiza-se que o ambiente “sala” não possui um número representativo de fontes emissoras de RNI se comparado com o ambiente “cozinha”, porém ele está geograficamente mais próximo aos edifícios com altura entre 26 a 39 m, estando, desta forma, mais exposto à radiação.

5.2.7 Residência 7 – 12º pavimento no bairro dos Estados, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 02-03/05/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A tabela 9 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos níveis de RNI para ambos os ambientes. O ambiente “sala-cozinha” apresentou média de 1,12 e desvio padrão de 0,004 μT . O ambiente “quarto” apresentou média de 1,08 μT e desvio padrão de 0,002 μT . Ambos os ambientes residenciais seguem o padrão das residências que não são AAT, apresentando pequenos desvios padrões e consequentes médias representativas, o que indica uma baixa oscilação nos níveis médios de RNI ao longo do dia. Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença entre os níveis de RNI dos respectivos ambientes, conforme é relatado na tabela 9.

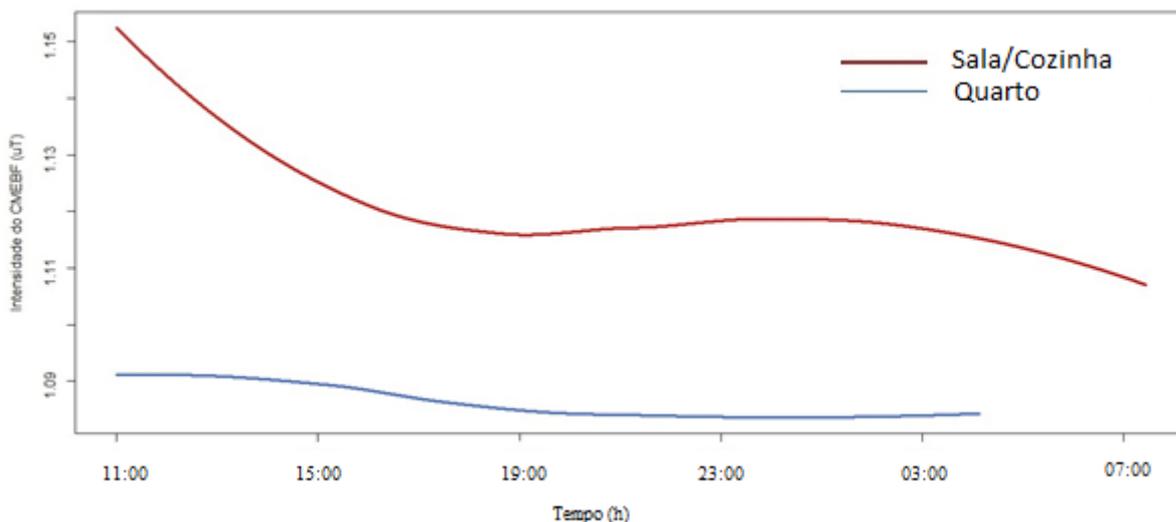
Tabela 9 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Bairro dos Estados

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,08	1,15	0,002
Sala-Cozinha	1,12	1,55	0,004

Fonte: dados de pesquisa (2017)

A figura 23 demonstra que os níveis de RNI do ambiente “quarto”, em média, variam de 1,08 a 1,09 μT , entre 11:00 e 03:00h; e no ambiente “cozinha” a intensidade do campo magnético está no intervalo entre 1,10 μT e 1,15 μT , durante todo o experimento a média de CMEBF no ambiente “sala-cozinha” foi superior ao ambiente “quarto”, o que é explicado pela maior densidade de equipamentos eletrodomésticos na cozinha. O período de 11:00h foi onde se encontrou os maiores níveis médios de intensidade de RNI para o ambiente “sala-cozinha”, muito provavelmente em função do uso de eletrodoméstico no preparo das refeições.

Figura 22 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes– “sala-cozinha” e “quarto”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Apesar de situada no 12º pavimento de sua respectiva edificação, o que implica numa distância significativa do apartamento ao transformador de energia elétrica interno do edifício, a residência em questão também apresentou níveis de intensidades de RNI superiores ao limite de $0,4 \mu\text{T}$, o que implica em condições de riscos aos seus moradores quando expostos a longos períodos de tempo à RNI de baixa frequência (ELWOOD, 2017).

Hareuveni *et al.* (2011), afirmam que a partir do 3º pavimento de uma edificação, a influência dos CMEBF proveniente dos transformadores de energia elétrica internos às edificações é menor. Tal resultado levanta a discussão de que apesar dos transformadores serem os principais responsáveis pela exposição residencial à RNI (KANDEL, 2013), na frequência de 60 Hz, eles não são a única fonte responsável pelo acréscimo de RNI no ambiente residencial, o que de fato é pouco discutido pelos pesquisadores. A residência em questão superou em mais de duas vezes o limite de $0,4 \mu\text{T}$, apesar da distância do apartamento em relação a via pública.

5.2.8 Residência 8 – 15º pavimento no bairro do Jardim Luna, João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 05-06/05/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foi analisado os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A tabela 10 apresenta os valores de média, máximos

e desvio padrão dos níveis de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. O ambiente “sala-cozinha” apresentou média de 1,119 μT e desvio padrão de 0,01 μT . O ambiente “quarto” apresentou média de 1,113 μT e desvio padrão de 0,01 μT . Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença entre os valores de RNI nos ambientes, conforme é evidenciado pela tabela 10.

Tabela 10 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Jardim Luna

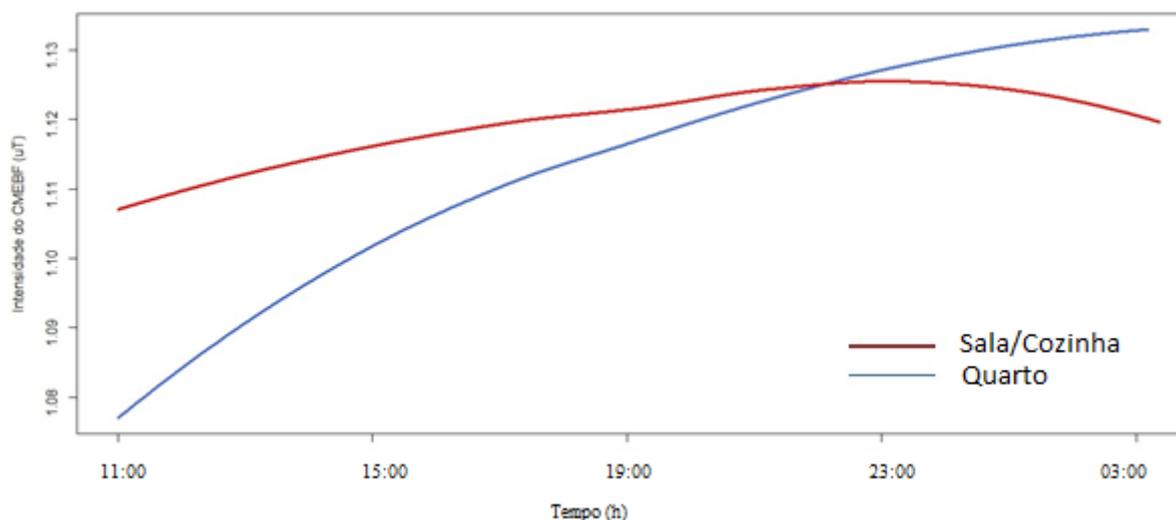
Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,113	1,166	0,01
Sala-Cozinha	1,119	1,175	0,01

Fonte: dados de pesquisa (2017)

Através da figura 24 observa-se que os níveis de RNI no ambiente “quarto” de 1,06 a 1,12 μT são inferiores ao ambiente “sala-cozinha” no período entre 11:00 às 22:00h. Porém, a partir das 22:00h o ambiente “quarto” apresentou níveis de RNI maiores que 1,12 μT , superando os níveis de RNI no ambiente “sala-cozinha”, o que pode ser decorrente devido ao morador passar a maior parte do tempo no ambiente “quarto”, que é provido de equipamento de climatização, em funcionamento, bem como do uso de *laptop*.

Apesar da residência estar situada no 15º pavimento, os níveis médios de RNI em seus ambientes também expõe seus moradores à condições de riscos de acordo com Huss *et al* (2013), pois superam em mais de duas vezes o limite de 0,4 μT .

Figura 23 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes– “sala-cozinha” e “quarto”



5.2.9 Residência 9 – 2º pavimento no bairro de Intermars, Grande João Pessoa

A coleta de dados ocorreu nos dias 12-13/05/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foi analisado os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A tabela 11 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. O ambiente “sala-cozinha” apresentou média de 1,12 μT e desvio padrão de 0,03 μT . Já o ambiente “quarto” apresentou média de 1,08 μT e desvio padrão de 0,02 μT . Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença significativa entre os valores de RNI nos ambientes, conforme é evidenciado na tabela 11.

Tabela 11 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Intermars

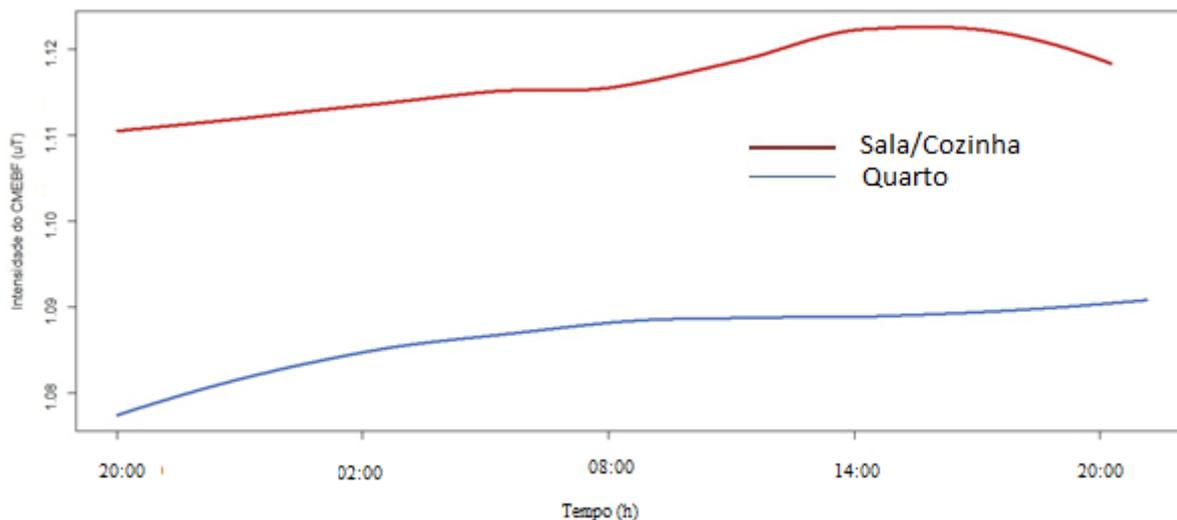
Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,08	1,15	0,02
Cozinha	1,12	1,25	0,03

Fonte: dados de pesquisa (2017)

A figura 25 mostra o comportamento dos níveis de RNI no ambiente “quarto” que variam entre 1,08 μT a 1,09 μT ; e no ambiente “sala-cozinha” a intensidade do campo

magnético está no intervalo entre $1,11 \mu\text{T}$ e $1,12 \mu\text{T}$. Durante todo o experimento os níveis de intensidade de CMEBF no ambiente “sala-cozinha” foi superior ao ambiente “quarto”. Isto se dá em função da densidade de eletroeletrônicos presentes no ambiente “sala-cozinha”, além do que a sala da residência conta com uma série de fontes de emissão de RNI, tais como modem *wi-fi*, televisão, *notebooks*, eletrônicos e ventiladores.

Figura 24 - Comportamento dos níveis médios de RNI entre os ambientes– “sala-cozinha” e “quarto”.



Fonte: dados de pesquisa (2017)

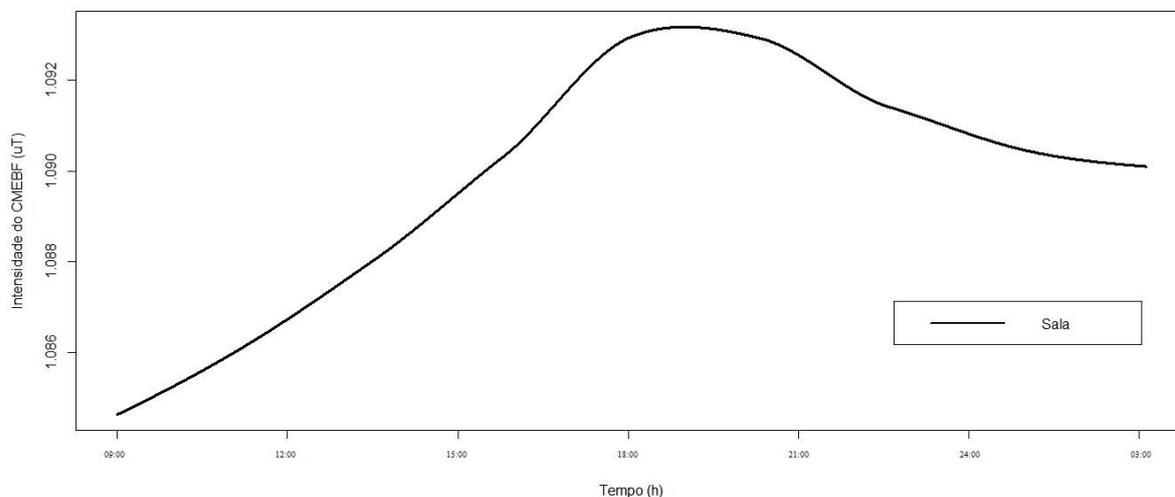
5.2.10 Residência 10 – 5º pavimento na cidade do Gama, Brasília

A coleta de dados ocorreu nos dias 22/05/2017. Apenas o ambiente “sala” foi analisado nesta residência, em virtude do apartamento ser do tipo *flat*. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. O ambiente “sala” apresentou média de $1,09 \mu\text{T}$ e desvio padrão de $0,04 \mu\text{T}$. A figura 26 representa o comportamento da intensidade de RNI neste ambiente ao longo do tempo. Percebe-se que as maiores intensidades em média ocorreu às 18:00h, com nível de RNI de $1,093 \mu\text{T}$.

Gama é uma cidade satélite de Brasília na região Centro-Oeste, com características urbanas distintas, por exemplo, da cidade de João Pessoa, mas os níveis de RNI permanecem superiores ao limite de $0,4 \mu\text{T}$, o que caracteriza o ambiente residencial como de risco para eventuais distúrbios provenientes da exposição à RNI de baixa frequência.

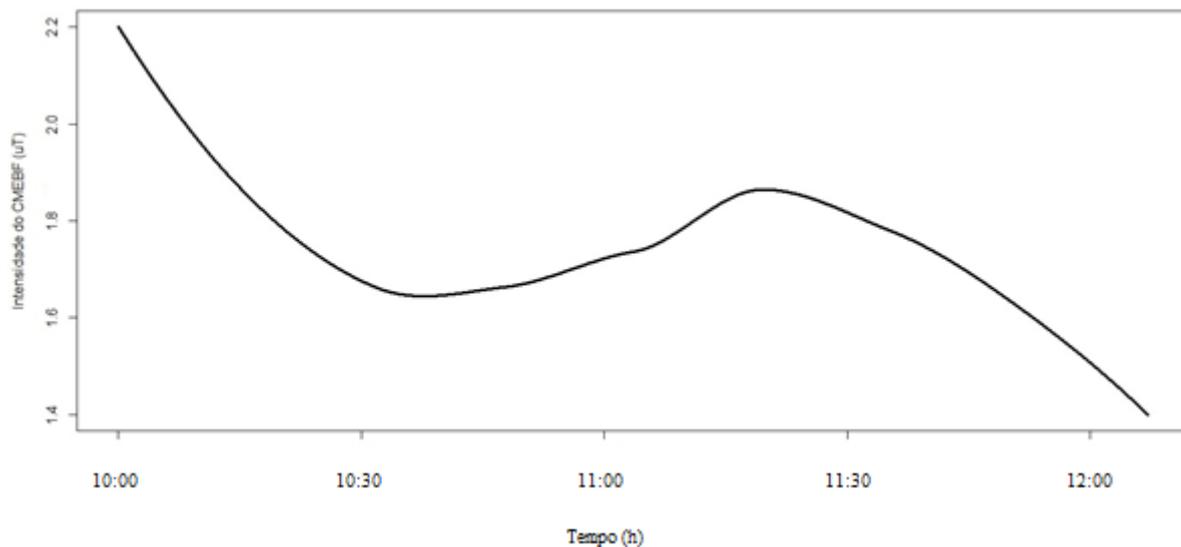
Por outro lado, evidencia-se que independente da localização geográfica das residências analisadas nessa pesquisa, bem como das mesmas serem ou não adjacentes aos transformadores de energia elétrica, os níveis de RNI encontram-se elevados e sempre superiores a $0,4 \mu\text{T}$.

Figura 25 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala”



5.2.11 Residência 11 – 1º pavimento na cidade de Águas Claras, Brasília

A coleta de dados ocorreu no dia 04/07/2017. A residência da edificação é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foi analisado o ambiente “sala”; trata-se de um apartamento do tipo *flat* com características específicas de *layout*, área e acessibilidade. O nível médio de RNI ao longo do experimento foi de $1,99 \mu\text{T}$ e desvio padrão de $0,6 \mu\text{T}$, indicando a presença de oscilações da RNI ao longo do tempo. Foi constatado durante o experimento, níveis de intensidade de RNI superiores a $6,0 \mu\text{T}$. A figura 27 apresenta o comportamento da RNI para esse ambiente no período de 10:00 a 12:00h para uma melhor compreensão do quanto esta oscilação é representativa em certos períodos de tempo.

Figura 26 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala”

Percebe-se que os níveis de RNI variam ao longo do tempo sempre em intensidades médias bastante elevadas. As 10:00h a intensidade média da RNI é de 2,2 μT ; após 30 minutos, esta intensidade decresce até 1,6 μT , e a partir deste instante os níveis de RNI se elevam até 1,9 μT , às 11:20h. A partir desta hora até às 12:00h, os níveis de RNI decrescem até 1,4 μT .

Acredita-se (GRELLIER, 2014) que as oscilações ocorridas podem estar vinculadas à potência do transformador de energia elétrica (500 kVA), o qual supera a potência dos transformadores das demais edificações analisadas nessa pesquisa em cinco vezes.

Ao longo de todo o experimento se percebe níveis de intensidades de RNI que superam o limite de exposição (0,4 μT) recomendados pelos pesquisadores (GRELLER, 2014; PAVLIK, 2017; ROOSLI, 2013; KANDEL, 2013) em mais de 1000%. Elwood (2017) afirma que a exposição residencial a longo prazo à CMEBF em constante oscilação pode causar interferências nos mecanismos celulares e consequentes alterações no DNA humano.

5.2.12 Residência 12 – 20º pavimento na cidade satélite de Águas Claras, Brasília

A coleta de dados ocorreu nos dias 05-07/09/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto”, “cozinha” e “sala”. A tabela 12 apresenta os valores de média,

máximos e desvio padrão dos índices de RNI para os ambientes. Através do teste de Kruskal-Wallis ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença entre os valores de RNI nos ambientes residenciais.

Tabela 12 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Horto

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,067	1,09	0,002
Cozinha	1,087	1,29	0,009
Sala	1,083	1,12	0,007

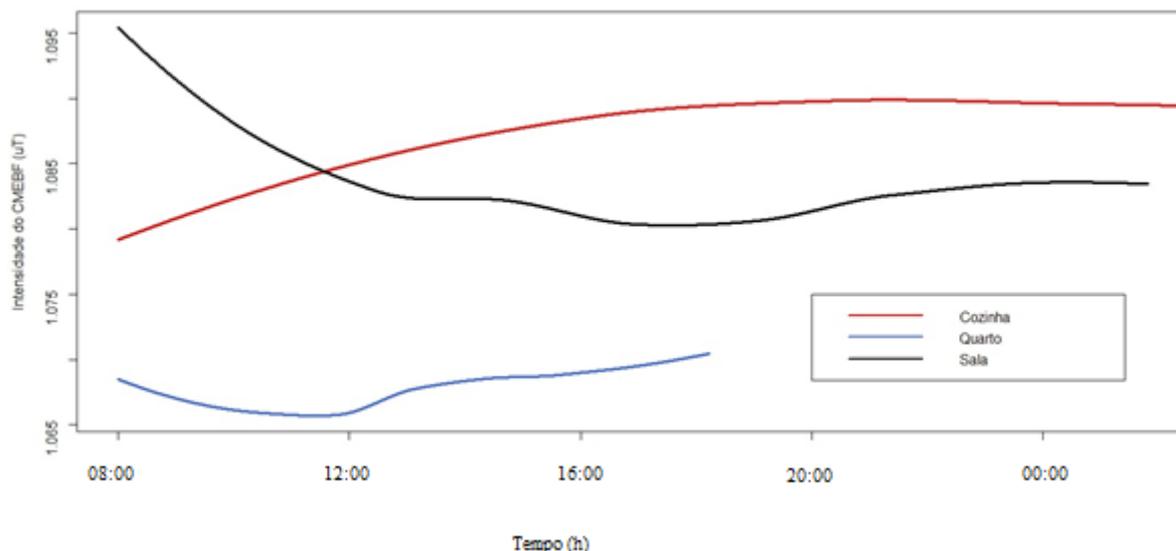
Fonte: dados de pesquisa (2017)

O ambiente “cozinha” apresentou média de 1,087 μT e desvio padrão de 0,009 μT , apresentando assim níveis de intensidade de RNI superiores aos ambientes “quarto” (média de 1,067 μT e desvio padrão de 0,002 μT) e “sala” (média de 1,083 μT e desvio padrão de 0,007 μT). Percebe-se através dos desvios padrões das médias, que a oscilação dos níveis de intensidade de RNI não foram tão significativas para esta residências, seguindo o padrão que vem sendo observado para os apartamentos que não são AAT.

A figura 28 apresenta o comportamento dos níveis de RNI ao longo do tempo para os três ambientes residenciais. O ambiente “quarto” apresenta em média os menores índices de RNI com variação entre 1,065 μT e 1,07 μT , no período entre 08:00 às 18:00h. O ambiente “sala” inicialmente está exposto a uma intensidade média de 1,095 μT , as 08:00h. No período entre 08:00 às 12:00h este ambiente apresenta um decréscimo nos níveis médios de RNI de 1,095 μT até 1,08 μT , onde segue de maneira quase que invariável até o fim do dia. O ambiente “cozinha” inicialmente apresenta intensidade média de RNI de 1,080 μT , mas com o decorrer do tempo, há um crescimento constante nos níveis médios de RNI atingindo 1,087 μT , às 16:00h, onde segue praticamente constante até o final do dia.

O ambiente “cozinha” demonstrou-se como o ambiente domiciliar com a maior presença de fontes internas emissoras de RNI, o que de acordo com Ainsbury (2005) estas fontes são responsáveis diretamente pelo acréscimo dos níveis de RNI em um ambiente residencial.

Figura 27 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “cozinha”, “quarto” e “sala”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

5.2.13 Residência 13 – 2º pavimento na cidade de Águas Claras, Brasília

A coleta de dados ocorreu nos dias 08-10/09/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto”, “cozinha” e “sala”. A tabela 13 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para os ambientes. Através do teste de Kruskal-Wallis ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença entre os valores de RNI nos ambientes residenciais.

Tabela 13 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Horta

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,065	1,146	0,018
Cozinha	1,074	1,429	0,075
Sala	1,071	1,118	0,014

Fonte: dados de pesquisa (2017)

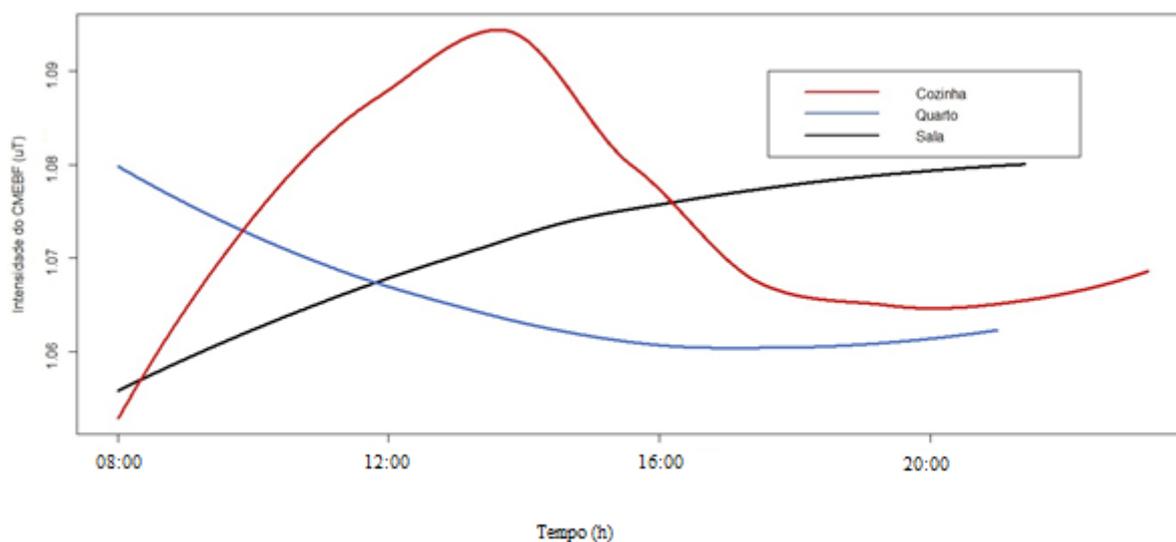
O ambiente “cozinha” apresentou média de 1,074 μT e desvio padrão de 0,075 μT, sendo superior aos demais ambientes “quarto” (média de 1,065 μT e desvio padrão

de $0,018 \mu\text{T}$) e “sala” (média de $1,071 \mu\text{T}$ e desvio padrão de $0,014$). A figura 29 apresenta o comportamento dos níveis de RNI ao longo do tempo para os três ambientes residenciais.

Os ambientes “cozinha” e “sala” iniciam o experimento com intensidades de RNI, na frequência de 60 Hz, em torno de $1,05 \mu\text{T}$, às 08:00h; ao decorrer do tempo ambos os ambientes apresentam um crescimento em suas intensidades médias de RNI. Os níveis de RNI no ambiente “cozinha” apresentam um crescimento mais abrupto em sua intensidade média em comparação com o ambiente “sala”; tendo em vista a utilização de equipamentos eletrodomésticos no preparo de refeições no ambiente “cozinha” ocasionar uma elevação dos níveis médios de RNI de $1,05 \mu\text{T}$ à $1,095 \mu\text{T}$ no intervalo de 08:00 a 13:00h, enquanto que para o ambiente “sala”, neste mesmo período de tempo, o crescimento nos níveis de RNI é de $1,05 \mu\text{T}$ à $1,07 \mu\text{T}$.

Os níveis médios no ambiente “cozinha” decrescem, e se demonstra mesma intensidade que o ambiente “sala” em $1,075 \mu\text{T}$ às 16:00h. A partir deste momento, os níveis médios de intensidade de RNI, no ambiente “sala” segue em crescimento até $1,08 \mu\text{T}$, enquanto que no ambiente “cozinha” há um decréscimo até $1,07 \mu\text{T}$, onde segue quase que constante até o fim do experimento. No ambiente “quarto”, ao iniciar o experimento têm-se níveis médios de intensidade de RNI em $1,08 \mu\text{T}$. Ao longo do tempo essa exposição vai diminuindo gradativamente até chegar em uma intensidade média de RNI de $1,06 \mu\text{T}$.

Figura 28 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “cozinha”, “quarto” e “sala”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Ressalta-se que para todos os ambientes residenciais analisados na cidade de Brasília (Residências 10, 11, 12 e 13), foi observado que o limite máximo recomendado de exposição de 0,4 μT sempre foi ultrapassado. É importante ressaltar que para o ambiente “sala” do AAT localizado em Águas Claras (Residência 11), este limite chegou a ser superado em mais de 1000% em determinados períodos de tempo.

Sabe-se que uma exposição prolongada de tempo à níveis de intensidade de RNI superiores a 0,4 μT pode duplicar a chance de ocorrência de leucemia infantil, de acordo com os estudos de Ahlbom *et al* (2000). Dessa forma, um ambiente residencial que excede esse limite em várias vezes durante certos intervalos de tempo pode intensificar ainda mais a chance de ocorrência de eventuais problemas de caráter epidemiológicos envolvendo a RNI e a saúde dos moradores.

5.2.14 Residência 14 – 5º pavimento no bairro do Horto, Teresina.

A coleta de dados ocorreu nos dias 03-04/09/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A tabela 14 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença entre os valores de RNI nos ambientes.

Tabela 14 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Horto

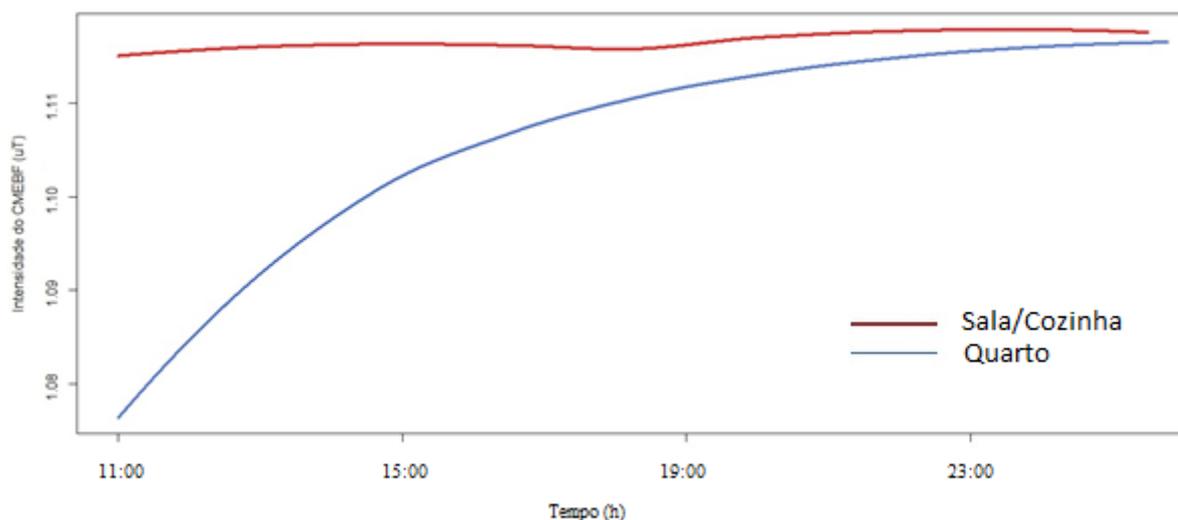
Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,10	1,20	0,02
Sala-Cozinha	1,11	1,18	0,01

Fonte: dados de pesquisa (2017)

O ambiente “sala-cozinha” apresentou níveis médios de intensidade de RNI superiores ao ambiente “quarto”, devido a maior presença de fontes emissoras de CMEBF. A figura 30 demonstra que os níveis de RNI do ambiente “quarto”, em média, apresentam um comportamento crescente variando ao longo do tempo entre 1,08 μT e

1,115 μT ; e no ambiente “sala-cozinha” a intensidade do campo magnético está no intervalo entre 1,11 μT e 1,12 μT .

Figura 29 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Na cidade de Teresina, os níveis de intensidade de RNI permaneceram bastante superiores ao limite de exposição de 0,4 μT para todos os ambientes residenciais analisados.

5.2.15 Residência 15 – 1º pavimento no bairro de Ininga, Teresina

A coleta de dados ocorreu nos dias 05-06/09/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A tabela 15 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 7,95 \times 10^{-6}$) confirma-se a diferença significativa entre os valores de RNI nos ambientes, conforme é evidenciado na tabela 15.

O ambiente “sala-cozinha” apresentou média de 1,14 μT e desvio padrão de 0,011 μT . De maneira análoga ao que ocorreu nas residências que não são AAT, o valor da média dos níveis de intensidade de RNI é representativo para o ambiente. O mesmo acontece para o ambiente “quarto” com média de 1,13 μT e desvio padrão de 0,012 μT .

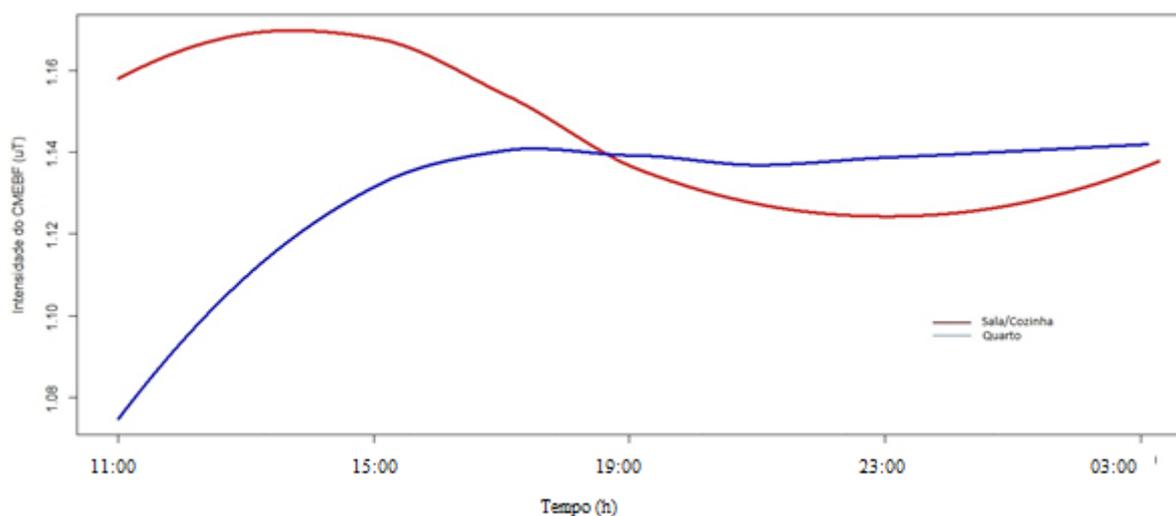
Tabela 15 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Horto

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	1,13	1,69	0,012
Sala-Cozinha	1,14	1,51	0,011

Fonte: dados de pesquisa (2017)

A figura 31 apresenta o comportamento da RNI ao longo do tempo para os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. O ambiente “sala-cozinha” apresenta uma variação contínua ao longo do tempo. Inicia-se com níveis de intensidade de RNI de $1,16 \mu\text{T}$ e há um acréscimo até $1,175 \mu\text{T}$ no período de 11:00 a 14:00h. Após este momento, há uma queda contínua nos níveis intensidade média de RNI até o nível de $1,12 \mu\text{T}$, no período de 14:00 a 21:00h, havendo logo em seguida, um crescimento médio até $1,14 \mu\text{T}$. O ambiente “quarto” inicialmente apresenta um crescimento de forma constante nos níveis médios de RNI no período de 11:00 a 15:00h. A média dos níveis de intensidade de RNI é elevada de $1,08 \mu\text{T}$ a $1,14 \mu\text{T}$, onde se mantém quase que de forma constante ao longo do experimento.

Figura 30 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”



Fonte: dados de pesquisa (2017).

Percebe-se que para o ambiente “sala-cozinha”, os maiores níveis médios de intensidade de RNI se encontram no período 11:00 a 12:00h, o que indica o uso dos eletrodomésticos presentes na cozinha da residência. O ambiente “quarto” apresenta maiores níveis médios de intensidade de RNI no período noturno, pois há utilização de

equipamentos eletrônicos (TV, sistema de climatização, dentre outros) e de acordo com Struchen (2015), o período noturno é caracterizado pela maior presença dos moradores nesse ambiente, os quais estão expostos à níveis de RNI durante longos períodos de tempo e de forma repetida ao longo dos anos. Tal exposição, a depender das características fisiológicas e da faixa etária dos moradores pode vir a ser extremamente prejudicial aos usuários (VALENZUELA, 2011).

5.2.16 Residência 16 – 1º pavimento no bairro de Piçarreira, Teresina

A coleta de dados ocorreu nos dias 07-08/09/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto” e “sala”. A tabela 16 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença significativa entre os valores de RNI nos ambientes, conforme é evidenciado na tabela 16.

É importante ressaltar que o desvio padrão no ambiente “sala-cozinha” (0,12 μT) supera o ambiente “quarto” (0,04 μT) em três vezes, conforme tabela 16, indicando uma maior oscilação dos níveis de RNI no ambiente “sala-cozinha”, o que pode ser justificado pelo número de fontes emissoras de RNI.

Tabela 16 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Horto

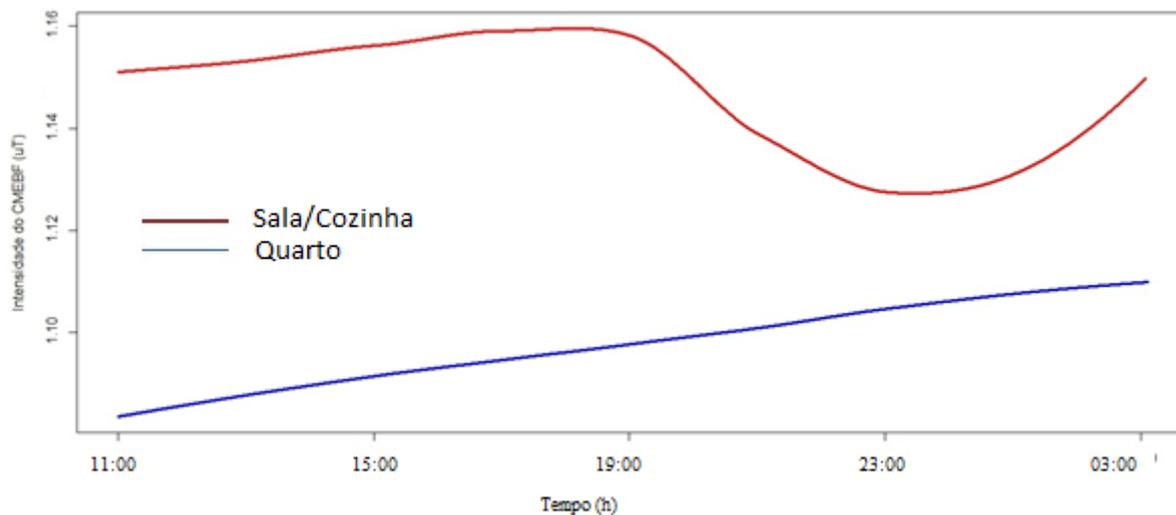
Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Sala-Cozinha	1,145	1,90	0,12
Quarto	1,097	1,35	0,04

Fonte: dados de pesquisa (2017)

A figura 32 apresenta o comportamento da RNI ao longo do tempo para os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. O ambiente “sala-cozinha” demonstra-se superior em média ao longo de todo o experimento em comparação ao ambiente “quarto”. No ambiente “sala-cozinha” os níveis médios de RNI iniciam em 1,15 μT apresentando um crescimento até 1,16 μT , no período de 11:00 a 19:00h. Logo em seguida, há uma queda dos níveis de RNI até 1,125 μT , no período das 19:00 a 23:00h, sendo presseguido de um

novo crescimento até $1,15 \mu\text{T}$. No ambiente “quarto” os níveis médios de RNI crescem de forma constante ao longo do tempo no intervalo de $1,08 \mu\text{T}$ a $1,11 \mu\text{T}$.

Figura 31 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

De forma análoga ao que ocorreu nas cidades de Brasília e João Pessoa, todos os ambientes residenciais apresentaram níveis médios de intensidade de RNI superior ao limite de $0,4 \mu\text{T}$. Vários pesquisadores ressaltam a preocupação com a exposição dos AAT à radiação não ionizante (ROOSLI, 2011; HUSS, 2013; ZARYABOVA, 2013), porém nas residências analisadas nessa pesquisa, essa preocupação estende-se aos apartamentos que não são adjacentes a transformadores de energia elétrica.

Os níveis elevados de RNI indicam que uma maior proporção de indivíduos podem estar submetidos a condições de riscos em seus ambientes residenciais. Na cidade de Teresina, em três residenciais verticais, as quais não são AAT, localizadas em bairros distintos os níveis médios de RNI sempre foram superiores a $0,4 \mu\text{T}$. Atrelado a este fato, sabe-se que pode haver uma série de problemas a saúde dos indivíduos expostos (CALVENTE, 2011).

5.2.17 Residência 17 – 2º pavimento no bairro do Centro, Manaus

A coleta de dados ocorreu nos dias 23-24/09/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto” e “sala”. A tabela 17 apresenta os valores de média, máximos e desvio

padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença entre os valores de RNI nos ambientes, conforme é evidenciado na tabela 17.

Tabela 17 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Centro, Manaus

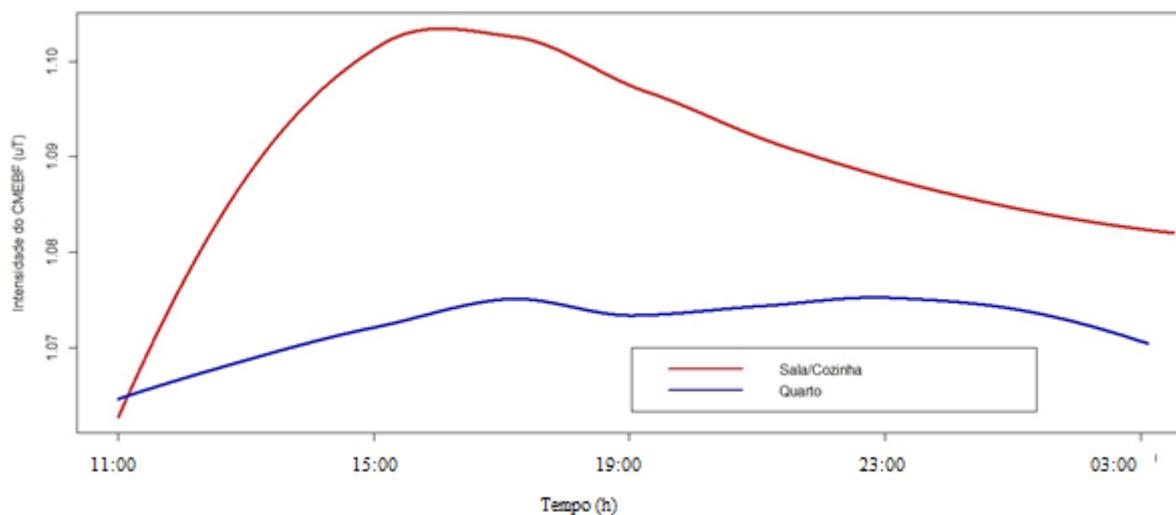
Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Sala-Cozinha	1,09	1,23	0,08
Quarto	1,07	1,38	0,03

Fonte: dados de pesquisa (2017)

A figura 33 apresenta o comportamento da RNI ao longo do tempo para os ambientes “quarto” e “sala”. Os ambientes “quarto” e “sala-cozinha” iniciam o experimento com exposição aos índices médios de RNI em torno de $1,06 \mu\text{T}$. No período de 11:00 a 15:00h o ambiente “sala-cozinha” apresenta um acréscimo na intensidade de RNI ultrapassando $1,1 \mu\text{T}$, enquanto que o ambiente “quarto” demonstra um pequeno acréscimo até $1,07 \mu\text{T}$, onde permanece variando muito pouco seus níveis médios de RNI. O ambiente “sala-cozinha”, após atingir intensidade média de $1,1 \mu\text{T}$, tem uma queda nos níveis de exposição média à RNI, chegando no fim do experimento a uma média de $1,08 \mu\text{T}$.

Devido a maior densidade de equipamentos eletroeletrônicos o ambiente “sala-cozinha” apresentou níveis médios de intensidade de RNI superiores ao ambiente “quarto”. Para ambos os ambientes residenciais os níveis de RNI sempre estiveram acima do limite de $0,4 \mu\text{T}$.

Figura 32 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

5.2.18 Residência 18 – 2º pavimento no bairro do Aleixo, Manaus

A coleta de dados ocorreu nos dias 23-24/09/2017. A residência da edificação é adjacente ao transformador de energia elétrica interno da edificação. Nesta residência foram analisados os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. A tabela 18 apresenta os valores de média, máximos e desvio padrão dos índices de RNI, em 60 Hz, para ambos os ambientes. Através do teste de Mann-Whitney ($p\text{-value} = 2,2 \times 10^{-16}$) confirma-se a diferença significativa entre os valores de RNI nos ambientes.

O ambiente “sala-cozinha” apresentou média representativa de $1,24 \mu\text{T}$ e desvio padrão de $0,13 \mu\text{T}$. Porém o ambiente “quarto” não demonstrou média representativa, pois o desvio padrão ($1,53 \mu\text{T}$) se aproxima muito da média ($2,00 \mu\text{T}$). Isso implica que as oscilações dos níveis de RNI no ambiente “quarto” ocorreram de forma constante e em níveis bastante elevados.

Durante o processo de mensuração de RNI, houve momentos em que os níveis de intensidade de radiação superaram $12 \mu\text{T}$. Este ambiente apresentou os maiores níveis de intensidade RNI e as maiores oscilações dos níveis de CMEBF dentre todos os ambientes residenciais analisadas.

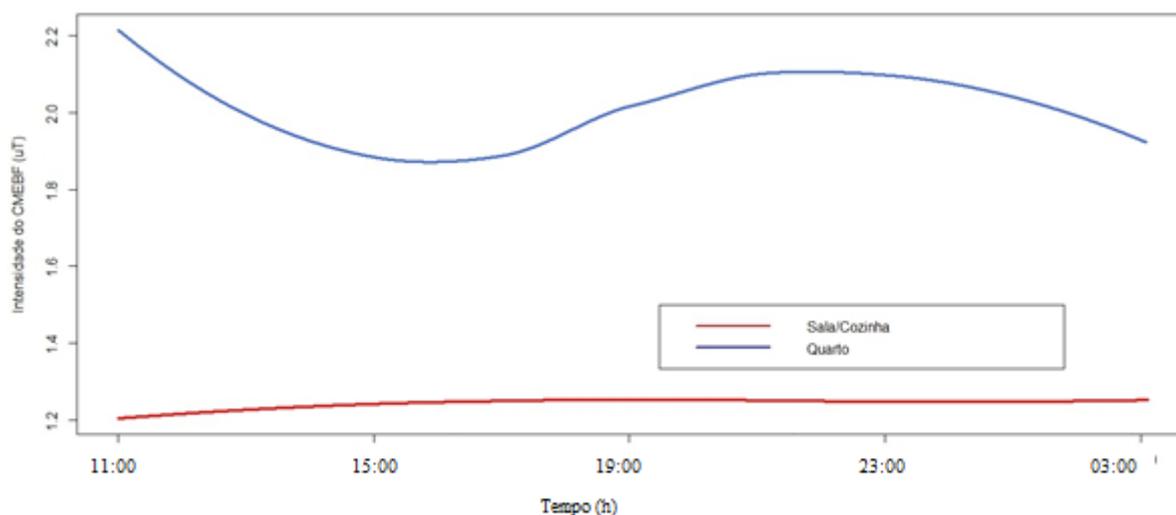
Tabela 18 - Média, valor máximo e desvio padrão da RNI (60Hz) por ambiente – Horto

Ambiente	Média(μT)	Valor máx.(μT)	Desvio padrão (μT)
Quarto	2,00	10,6	1,53
Sala-Cozinha	1,24	1,67	0,13

Fonte: dados de pesquisa (2017)

A figura 34 apresenta o comportamento da RNI ao longo do tempo para os ambientes “quarto” e “sala-cozinha”. Para o ambiente “sala-cozinha”, os índices de intensidade média de RNI permanecem em torno de $1,2 \mu\text{T}$ durante todo o experimento. No ambiente “quarto”, devido ao alto desvio padrão, os níveis de intensidade de RNI superam os valores médios de intensidade de RNI durante a maior parte do tempo.

Figura 33 - Comportamento dos níveis médios de RNI – “sala-cozinha” e “quarto”



Fonte: dados de pesquisa (2017)

A explicação para a oscilação dos níveis de RNI no ambiente “quarto” se dá pelo fato deste ambiente estar adjacente ao transformador de energia elétrica interno à edificação. Sabe-se que a proximidade do ambiente residencial aos transformadores implica na elevação dos níveis de intensidade de RNI bem como da oscilação destes. Além de estar adjacente a um transformador de energia elétrica, existem dois outros transformadores próximos à residência que influenciam no acréscimo dos níveis de RNI. Além disso, todo o conjunto habitacional é contornado por linhas de transmissão de energia, que de acordo com Haveureny (2011) estas linhas são fontes emissoras de RNI

em baixa frequência. A figura 35 ilustra um pouco do entorno onde está situado o ambiente “quarto”.

Figura 34 - Edifício Sol Morar – Manaus



Fonte: dados de pesquisa (2017)

De acordo com Struchen (2015), as crianças tendem a passar maior parte do seu tempo no ambiente domiciliar em seus respectivos quartos. Sabe-se que há associação da exposição à altos índices de RNI durante longos períodos de tempo ao surgimento da leucemia infantil (CAMARA, 2013). Valenzuela (2011) relata que as crianças são mais vulneráveis do que os adultos à exposição ao ambiente.

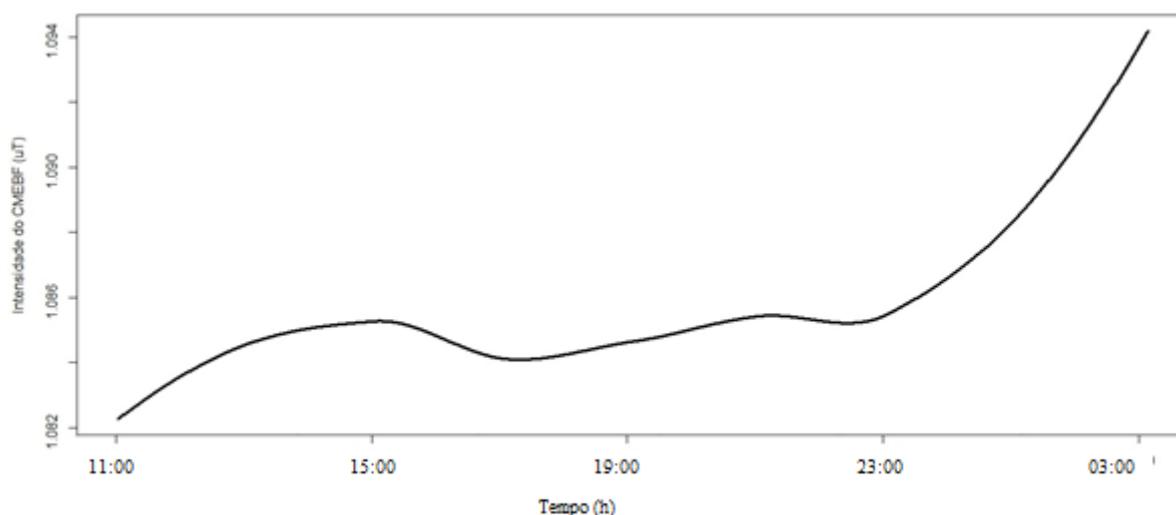
Sabe-se que a oscilação constante do campo magnético durante longos períodos de tempo pode acarretar em uma série de danos à saúde dos moradores (ELWOOD, 2017). Ressalta-se a preocupação com os níveis de RNI apresentados neste ambiente residencial, pois a exposição à RNI acontece de forma intensa e contínua durante todo o tempo.

5.2.19 Residência 19 – 5º pavimento no bairro de Floresta, Joinville

A coleta de dados ocorreu no dia 30/10/2017. A residência da edificação não é adjacente ao transformador de energia elétrica. Nesta residência foi analisado o ambiente “sala”, devido ao apartamento ser do tipo *flat*. A média dos níveis de RNI do ambiente “sala”, na frequência de 60 Hz, foi de 1,08 μ T e desvio padrão de 0,02 μ T. A figura 36 apresenta o comportamento da RNI ao longo do tempo para o ambiente “sala” na residência 19.

O ambiente “sala” apresenta níveis de intensidade média de RNI no intervalo de 1,082 a 1,086 μ T no período de 11:00 a 23:00h. A partir desse momento percebe-se um acréscimo dos níveis de RNI em que a intensidade média eleva-se de 1,086 μ T a 1,094 μ T. Este acréscimo nos níveis de RNI pode ser explicado, por este ter sido o período em que o morador esteve na residência, fazendo uso de fontes emissoras de CMEBF, como aparelho celular, TV, *laptops*.

Figura 35 - Comportamento dos níveis médios de RNI



Fonte: dados de pesquisa (2017)

A residência vertical analisada na cidade de Joinville seguiu o mesmo comportamento para os apartamentos que não são AAT das cidades de João Pessoa, Brasília, Manaus e Teresina. Em todos esses casos a média foi parâmetro representativo, devido ao baixo desvio padrão, e os níveis de intensidade de RNI foram sempre superiores a 0,4 μ T. Para os AAT, nem sempre a média dos ambientes residenciais pode ser considerada representativa. Em alguns casos devido a proximidade e potência dos

transformadores de energia elétrica envolvidos, a oscilação do campo magnético ocorria de forma constante e com valores muito elevados fazendo com que ocorresse a elevação do desvio padrão das médias nesses ambientes.

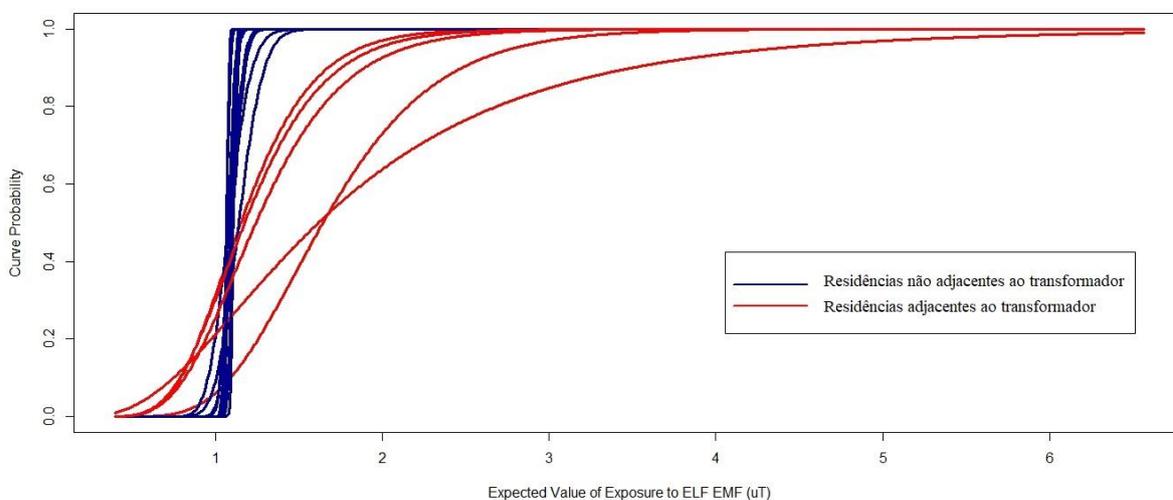
Dessa forma é importante analisar o comportamento dos níveis de RNI para os AAT e para as residências que não são AAT, pois este comportamento ocorre de forma distinta para ambos os casos. A distribuição acumulada dos níveis de RNI exemplifica a diferença dos níveis de RNI nos AAT para as residências não adjacentes a transformadores de energia elétrica.

5.3 COMPORTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DOS NÍVEIS DE RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

Todos os níveis de radiação nos ambientes das residências analisados apresentaram comportamento ao longo do tempo similares à distribuição lognormal, a qual é uma distribuição normal em uma escala logarítmica.

A figura 37 apresenta a probabilidade acumulada da função lognormal dos níveis de radiação nos ambientes das residências analisados. Há um crescimento mais lento na curva de probabilidade e com níveis de intensidade de RNI maiores para os AAT, como está ressaltado nesta figura.

Figura 36 - Probabilidade acumulada

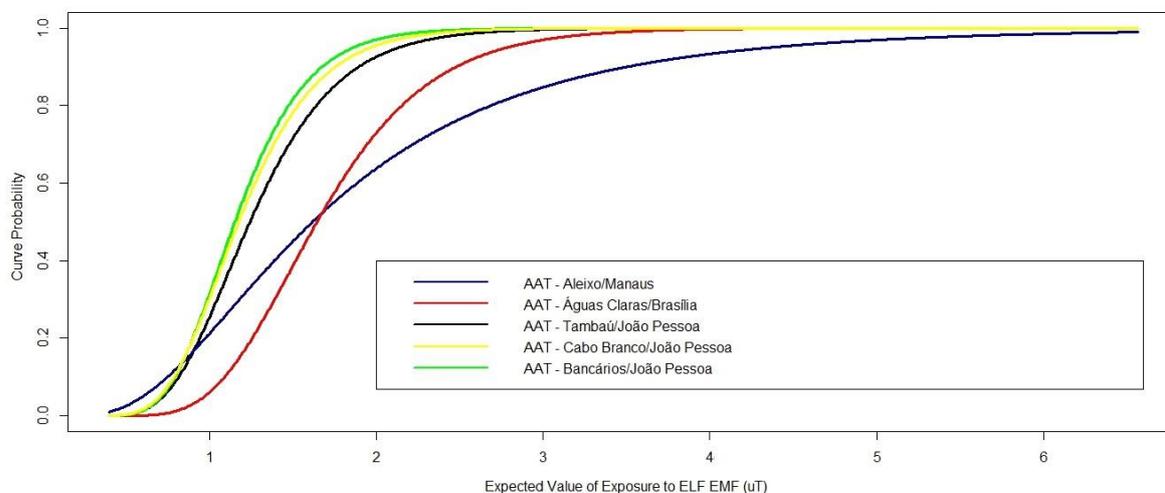


Fonte: dados de pesquisa (2017)

As residências que não são adjacentes aos transformadores de energia elétrica apresentaram comportamentos semelhantes, de modo que há uma probabilidade em torno de 99% para a exposição dessas residências à níveis de RNI no intervalo de 0,8 a 1,25 μT . Apesar de estarem menos expostas a níveis mais elevados de RNI quando comparadas aos AAT, estas residências ainda apresentaram altos índices de intensidade de RNI, levando em consideração o que é tratado na literatura como ambiente de risco ($\geq 0,4 \mu\text{T}$), principalmente no que tange a problemática da leucemia infantil (HUSS, 2013).

Os AAT apresentam comportamentos diferenciados em relação as demais residências. O crescimento mais lento de suas respectivas curvas de probabilidade indicam a presença de maiores níveis de intensidade de RNI, além de ser um indicador do quanto a oscilação da intensidade de RNI ocorre de forma constante nesses ambientes. A figura 38 apresenta o comportamento das distribuições acumuladas para as residências adjacentes aos transformadores de energia elétrica. Dentre os AAT analisados, destacam-se as residências de edificações verticais nas cidades de Águas Claras e Manaus, que por serem os AAT com os maiores níveis de intensidade e oscilação de RNI, o que é caracterizado pelo crescimento de forma mais lenta de suas respectivas curvas de probabilidade, indicando a maior probabilidade de ocorrência de níveis maiores de RNI nesses ambientes residenciais.

Figura 37 - Probabilidade acumulada dos níveis de RNI nos AAT



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Conforme é evidenciado pela figura 38, a probabilidade de ocorrência de níveis de intensidade de RNI muito acima do limite $0,4 \mu\text{T}$ é elevada. Os AAT localizados nos

bairros Bancários/João Pessoa, Cabo Branco/João Pessoa e Tambaú/João Pessoa apresentaram comportamentos semelhantes, havendo assim uma probabilidade em torno de 99% para a ocorrência de níveis de RNI no intervalo de 0,8 a 2,0 μT para estes AAT.

Nos AAT no bairro do Aleixo/Manaus e na cidade de Águas Claras/Brasília encontram-se probabilidades de ocorrências de níveis mais elevados de RNI. No AAT do bairro Aleixo/Manaus há uma probabilidade em torno de 60% no intervalo de 0,8 a 2,0 μT . Para níveis de RNI entre 2,0 e 6,0 μT há uma probabilidade de aproximadamente 40%, enquanto que no AAT na cidade satélite de Águas Claras/Brasília há uma probabilidade em torno de 80% no intervalo de 1,0 a 2,0 μT , e para níveis de RNI entre 2,0 e 3,0 μT a probabilidade é no em torno de 20%.

Sabe-se que a exposição residencial a elevados níveis de RNI por longos períodos de tempo pode ser extremamente prejudicial à saúde dos moradores (CALVENTE *et al.*, 2010). Havas (2017) alerta que a RNI altera o mecanismo de reparação de anti-oxidantes, resultando em uma acumulação de radicais livres, que agem interrompendo processos celulares e causando danos ao DNA. Esta alteração celular ocorre em virtude da oscilação constante dos CMEBF.

O tópico subsequente trata do comportamento da oscilação dos campos magnéticos na frequência de 60 Hz para os AAT, pois trata-se das maiores condições de risco aos moradores.

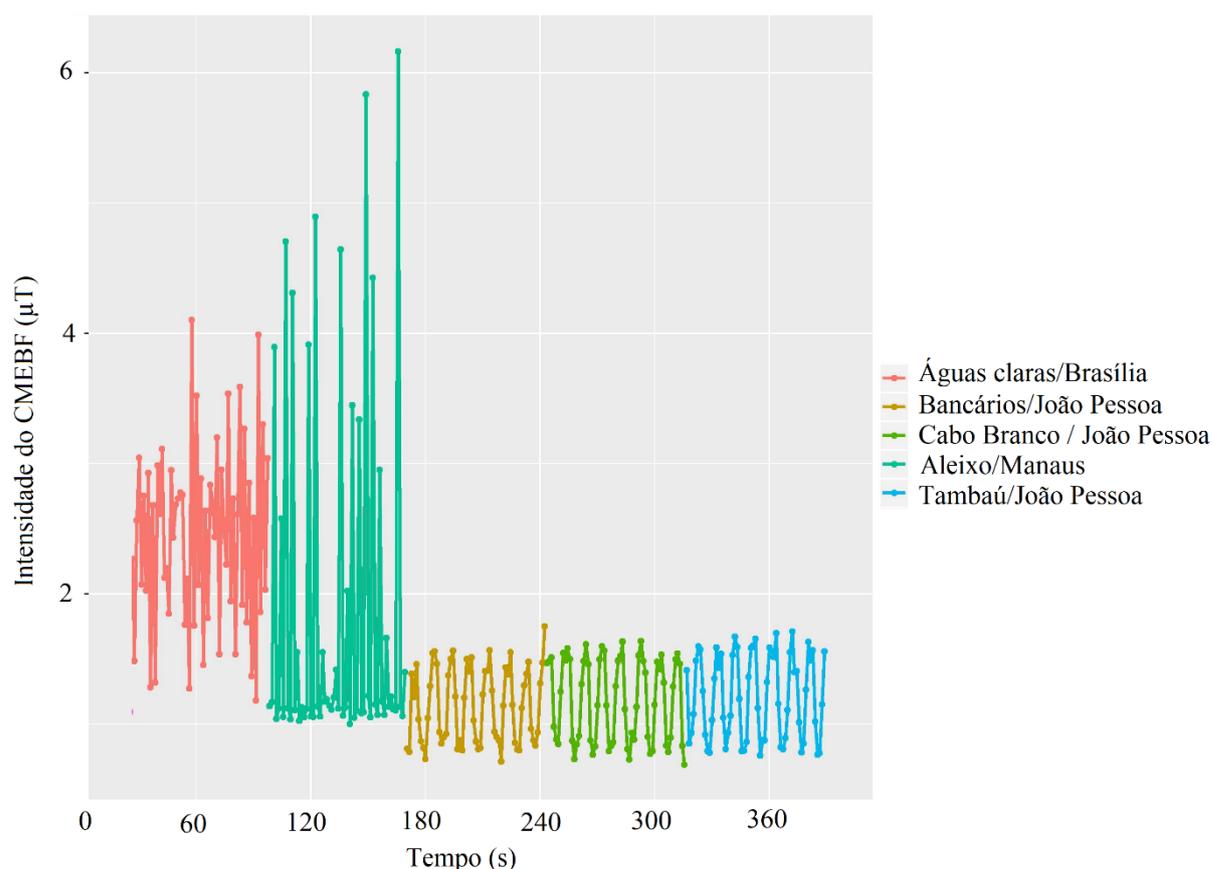
5.4 OSCILAÇÃO DOS NÍVEIS DE RNI EM FUNÇÃO DO TEMPO

Para uma melhor compreensão da oscilação dos campos magnéticos ao longo do tempo nos ambientes residenciais dos AAT selecionaram-se intervalos aleatórios de 60 segundos dessas medições em todos os AAT. Durante o processo de coleta de dados, os níveis de intensidade de RNI são coletados em intervalos de 1 segundo. Percebeu-se que em períodos curtos de tempo há uma oscilação considerável dos valores de RNI para os AAT. A proximidade das residências com os transformadores de energia elétrica e linhas de transmissão acarretam na oscilação constante dos índices de RNI na frequência de 60 Hz. Os pesquisadores Grellier (2014) e Yitzhak (2012) afirmam que as maiores oscilações em ambientes residenciais encontram-se nos AAT.

Através da figura 39 percebe-se que as maiores oscilações por segundo ocorrem nos AAT da cidade satélite de Águas Claras, Brasília, e no bairro Aleixo, Manaus. Na

residência da edificação vertical da cidade satélite de Águas Claras, Brasília, a qual se encontra adjacente a um transformador de energia elétrica com potência de 500 kVA a oscilação máxima dos níveis de RNI foi de $3\mu\text{T}$ por segundo no intervalo de 1,2 a 4,1; já no ambiente residencial do bairro do Aleixo, cidade de Manaus, o qual é adjacente a um transformador de energia elétrica de potência 110 kVA e próximo à outros dois transformadores de mesma potência apresentou oscilações dos níveis de RNI por segundo próximo a $5\mu\text{T}$ no intervalo de 1,2 a $6,1\mu\text{T}$. É importante ressaltar que estas oscilações são constantes durante todo o processo de mensuração de RNI e são superiores às oscilações ocorridas nos ambientes residenciais dos bairros da cidade de João Pessoa, que registraram oscilações de $0,4\mu\text{T}$ entre os níveis 1,4 e $1,8\mu\text{T}$. Segundo Kandel (2013) a oscilação constante de RNI acima de $0,1\mu\text{T}$ por segundo pode causar danos à saúde do ser humano.

Figura 38 - Oscilação dos níveis de RNI no intervalo de 60 segundos.



Fonte: dados de pesquisa (2017)

5.4.1 Fatores que podem influenciar na oscilação da RNI na frequência de 60 Hz – AAT Águas Claras, Brasília

Alguns dos fatores vinculados às características do entorno da edificação poderão influenciar de maneira direta ou não no acréscimo dos níveis de RNI no ambiente residencial. A figura 40 demonstra que o AAT na cidade de Águas Claras está localizado em um trecho majoritariamente de uso residencial – havendo usos mistos pontuais, mas que não suprem o bairro com as atividades necessárias para a autossuficiência mínima do conjunto. Como mostra a figura 41, as áreas verdes são poucas, contrariamente ao proposto pelo plano diretor original, sendo a maioria parte de contornos direcionados para a malha viária da cidade, não se comportando, então, como áreas abertas para o uso público dos habitantes da área.

Figura 39 - Mapa de ocupação e uso de Águas Claras



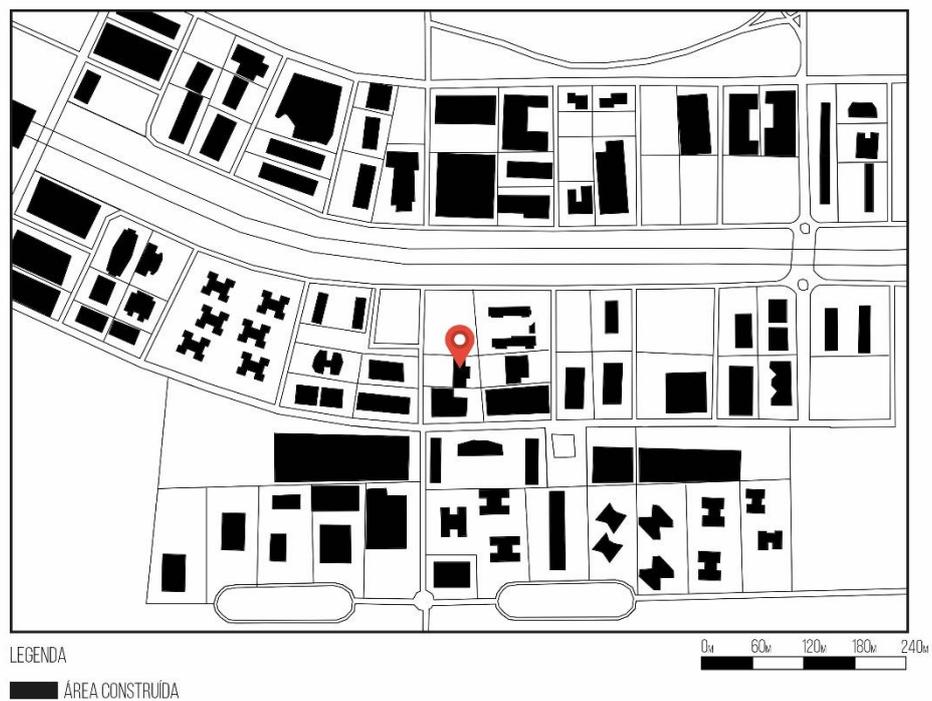
Dados de pesquisa (2017)

Figura 40 - Mapa de áreas verdes de Águas Claras

Fonte: dados de pesquisa (2017)

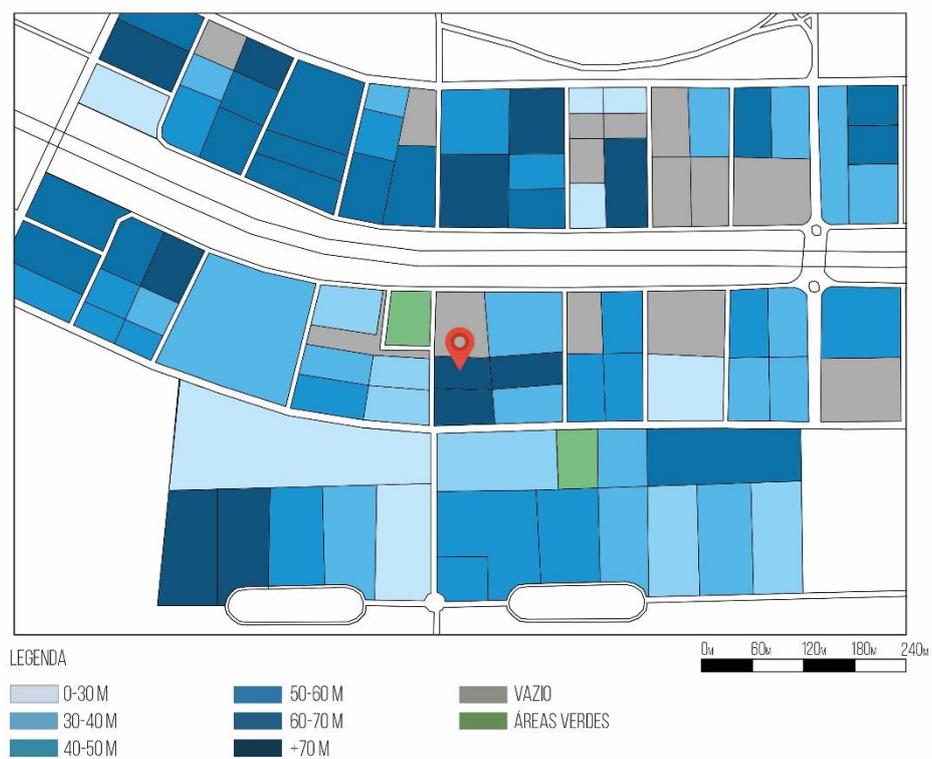
Um dos aspectos mais preocupantes, no entanto, é o não cumprimento do coeficiente de aproveitamento do solo. Como observa-se na figura 42 e 43, além do trecho ser densamente ocupado, suas edificações são, em sua notável maioria, edificações verticais de grande porte. Os poucos espaços com o gabarito menor que 30m de altura, se caracterizam como vazios ou canteiros de obras – prestes a se tornar um outro edifício que compõe a malha urbana da cidade.

Figura 41 - Mapa de área construída de Águas Claras, DF



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Figura 42 - Mapa de gabarito de Águas Claras, DF



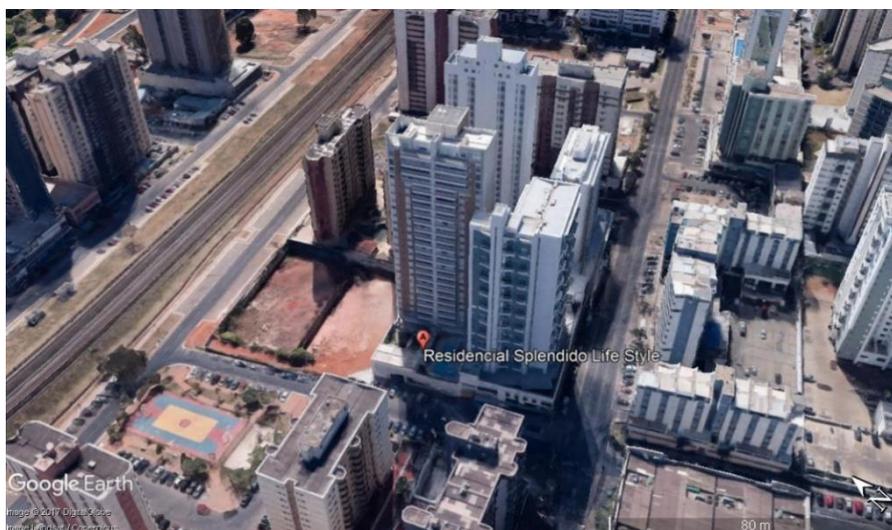
Fonte: dados de pesquisa (2017)

Tais características formam um ambiente propício a se tornar uma ilha de calor, ou seja, desenvolver um microclima urbano em função da modificação do balanço de energia e fluxos de ar influenciados pelas atividades, fluxos e equipamentos presentes no meio urbano (FERREIRA, 2014). A proximidade de edifícios em uma área urbana densa, e consequente baixa taxa de fator de visão do céu, dificulta a reflexão da radiação solar de volta para a atmosfera, forçando com que esta seja realizada entre as próprias edificações. Segundo CAMPANHONI, 2011:

O tamanho dos edifícios, com as pequenas distancias entre eles, faz com que seja pequena a quantidade de radiação solar incidindo nas ruas e em outras áreas abertas entre os edifícios. A radiação que incide nas fachadas é parcialmente refletida nas outras paredes dos edifícios vizinhos. Ao final desse processo, numa densa área urbana, somente uma pequena parte da radiação solar incidente nas paredes é refletida para o céu, enquanto a maioria é absorvida pelas paredes dos edifícios e pode ser emitida de volta à tarde ou a noite.

O edifício em questão consiste em uma torre de 25 andares cujas fachadas leste e sul se encontram consideravelmente próximas aos edifícios vizinhos, como observa-se na figura 44. As fachadas norte e oeste, no entanto, possuem um alto valor na taxa de visão do céu, devido tanto à distância em relação aos demais edifícios quanto à presença de vazios urbanos localizados no entorno imediato.

Figura 43 - Perspectiva do entorno imediato do AAT em Águas Claras, DF



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Diante do exposto, nota-se que o entorno da edificação não contribuiu diretamente para o acréscimo dos índices de RNI no ambiente residencial, logo o outro fator influente na elevação dos níveis de RNI no ambiente advém da presença do transformador de energia elétrica com potência de 500 kVA (figura 45) responsável pelo provimento de energia elétrica às 3 edificações que circundam o edifício onde fora realizada as medições, sendo sua potência cinco vezes superior à potência dos transformadores das demais edificações analisadas, as quais estão em torno de 75 ou de 110 kVA.

Figura 44 - Transformador de abrigada subterrânea na edificação de Águas Claras



Fonte: dados de pesquisa (2017)

5.4.2 Fatores que podem influenciar na oscilação da RNI na frequência de 60 Hz

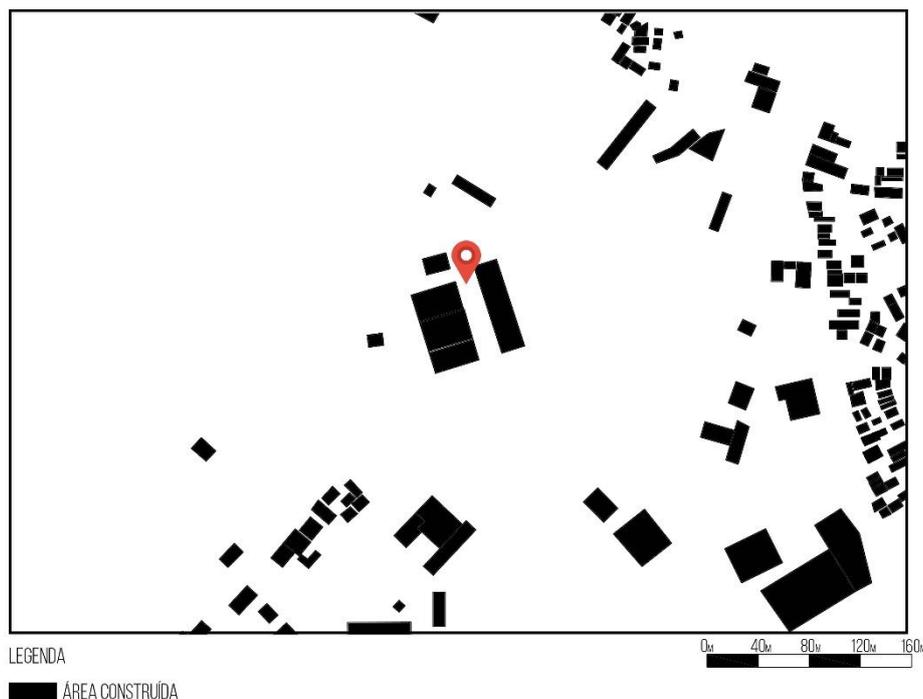
– AAT Aleixo, Manaus

As figuras 46 e 47 representam onde está localizado o conjunto de edificações ao qual o AAT localizado na cidade de Manaus faz parte. Este localiza-se em uma área densamente verde e com amplos vazios urbanos. Diferentemente do trecho analisado na cidade de Águas Claras, o entorno deste edifício é caracterizado por uma porcentagem relativamente pequena de área construída, apesar de áreas pontuais densamente ocupadas. Nota-se uma supremacia de áreas verdes e vazios urbanos no entorno imediato da área de medição – fator que deveria ocasionar em baixos índices de radiação não-ionizante, uma vez que não há empecilhos quanto à comunicação entre a edificação e o céu, obtendo então uma alta taxa de fator de visão do céu, assim como plena ventilação em sua totalidade.

Figura 45 - Mapa de áreas verdes de Manaus



Fonte: dados de pesquisa (2017)

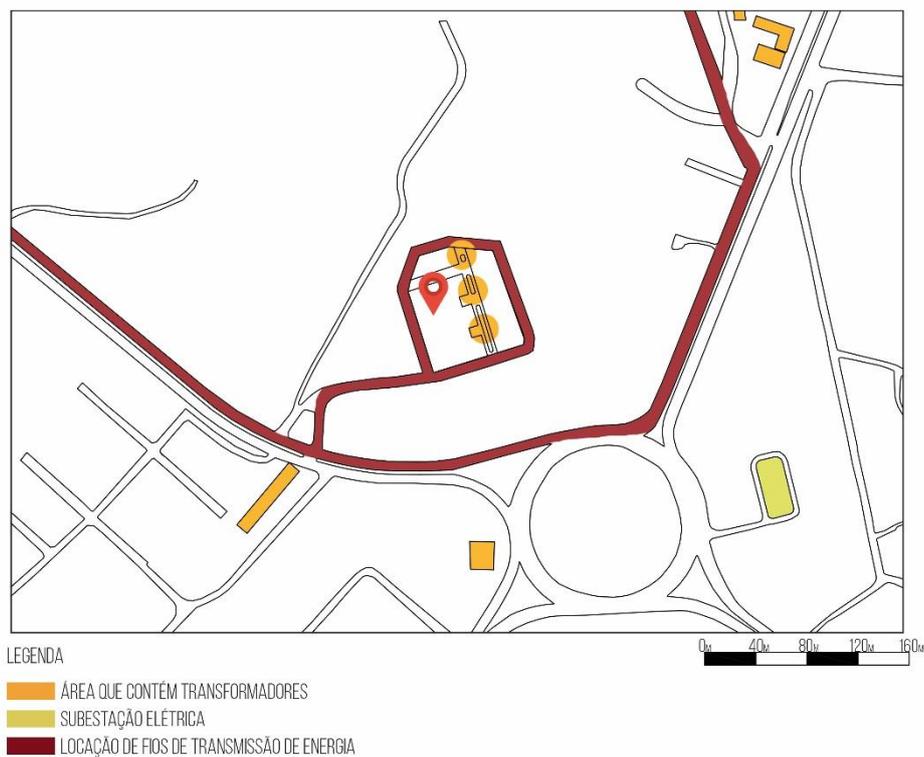
Figura 46 - Mapa de área construída de Manaus

Fonte: dados de pesquisa (2017)

No entanto, constatou-se através de medições realizadas nos ambientes da residência do bairro Aleixo altos níveis de radiação não-ionizante, entre 0,8 e 12 μT , que se comportam de maneira extremamente oscilantes. Decorrente desse fato investigou-se que fatores poderiam promover tal comportamento.

A primeira justificativa seria a proximidade com zonas de alta tensão. Como se observa na figura 48, o próprio edifício constitui uma área de alta-tensão, uma vez que possui três transformadores de energia elétrica dentro dos limites do terreno, sendo um adjacente à residência. Em seu entorno se encontram outros três prédios relativamente próximos, que também possuem transformadores de energia elétrica, e ainda uma subestação de alta tensão de energia.

Além disso, o terreno dos edifícios está circundado por uma densa malha de fios de transmissão de energia, como mostra a figura 49, que também justificaria os níveis de RNI medidos no local como sendo consequência da proximidade da residência a estas linhas de transmissões.

Figura 47 - Mapa de áreas de alta tensão de Manaus

Fonte: dados de pesquisa (2017)

Figura 48 - Vista entorno imediato da edificação

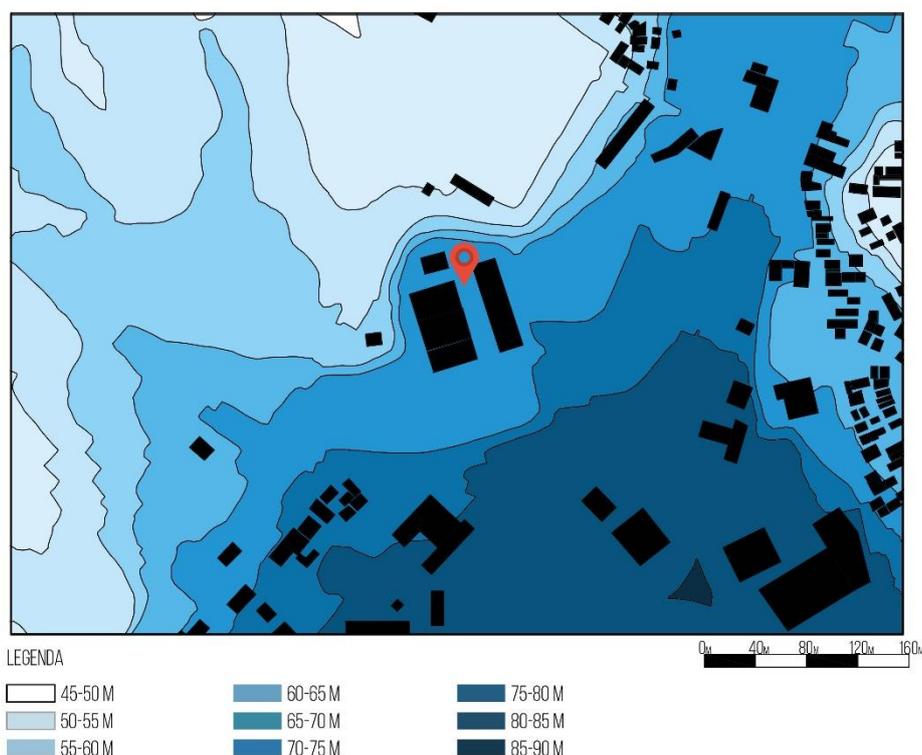
Fonte: dados de pesquisa (2017)

Outra justificativa seria o relevo no qual o conjunto habitacional se encontra. Este está localizado em uma área extremamente acidentada onde há um desnível de cerca de

20 metros de altitude em seu entorno imediato, conforme observa-se na figura 50. Sendo assim, a equipe responsável pelo projeto e obra optou por locar o edifício em uma altitude intermediaria-alta de forma que todo o terreno estivesse plano. Tal decisão projetual convergiu em um aterro de cerca de 5 metros em relação ao nível térreo do conjunto, conforme figura 51.

Esta característica pode resultar em uma espécie de ilha de calor – desta vez não ocasionada pela proximidade entre edifícios, mas pela proximidade com o próprio solo em desnível que se encontra nas imediações do terreno. Tal proximidade afeta a comunicação entre o térreo do prédio e o exterior, tornando assim o espaço restringido pelo relevo e com taxas de fator de visão do céu mais baixas do que se esperava inicialmente, dificultando a reflexão da radiação de volta para atmosfera. Logo é provável que esse fator em conjunto com os três transformadores de energia elétrica internos ao conjunto de edificações bem como as linhas de transmissões que circundam todo o conjunto habitacional podem contribuir para elevação do nível de radiação não ionizante nos ambientes residenciais do bairro Aleixo, Manaus.

Figura 49 - Mapa de relevo Manaus



Fonte: dados de pesquisa (2017)

Figura 50 - Vista da edificação



Fonte: dados de pesquisa (2017)

5.5 ASSOCIAÇÃO ENTRE LEUCEMIA INFANTIL E CAMPOS MAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA

Muitos são os indícios da relação entre a exposição à campos magnéticos de extrema baixa frequência e o surgimento da leucemia infantil. Diversos estudos alertam para o fato que a RNI é capaz de alterar modificações no DNA quando exposta a longo prazo aos moradores em intensidades superiores a $0,4 \mu\text{T}$ (SAGE, 2012; ELWOOD, 2017).

Foi realizado um mapeamento dos casos de leucemia infantil nas cidades envolvidas na pesquisa. A tabela 19 apresenta o número de casos da doença no período de 2005-2012. Ressalta-se que o número de ocorrência de leucemia infantil presente na tabela 19 trata dos registros da doença em cada capital de seus respectivos estados onde fora realizada as medições dos níveis de RNI. A cidade de Joinville por não ser a capital do estado de Santa Catarina, os registros não foram disponibilizados pelo Instituto Nacional do Câncer (INCA, 2017).

Tabela 19 - Casos de leucemia infantil

Cidade	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
João Pessoa	8	9	10	8	15	10	10	7
Manaus	27	26	43	25	27	-	-	-
Brasília	32	20	-	-	-	-	-	-
Teresina	10	8	-	-	-	-	-	-

Fonte: INCA (2017).

Apenas nas cidades de João Pessoa e Manaus foram possíveis obter os registros de casos de ocorrência de leucemia infantil por bairros, os quais foram obtidos pelo Registro de Câncer de Base Populacional (RCBP), órgão filiado ao INCA (2017). A tabela 20 apresenta os casos de leucemia infantil nos bairros da cidade de João Pessoa participantes dessa pesquisa no período entre 2005-2012.

Tabela 20. Número de ocorrência de leucemia infantil por bairros – João Pessoa

Bairros	Nº de casos
Manaíra	7
Bancários	3
Tambáú	1
Cabo Branco	1
Bairro dos Estados	2

Fonte: INCA (2017)

O bairro Manaíra, em termos demográficos, apresentou proporcionalmente os maiores índices de ocorrência da doença em João Pessoa, em torno de 7. É importante ressaltar que Manaíra é considerada a maior ilha de calor da cidade de João Pessoa,

apresentando áreas com alta densidade de edificações e de materiais urbanos que são responsáveis pelo acúmulo de RNI durante o dia (SANTOS, 2012).

O bairro Aleixo da cidade de Manaus registrou 6 ocorrências de leucemia infantil no período de 2005–2009. Este bairro também é considerado como a maior ilha de calor da cidade (WAGNER, 2013). Ressalta-se que este bairro apresenta características específicas como a presença de subestações de alta tensão, onde a disseminação de CMEBF também ocorre de forma intensa. A figura 52 ilustra a presença de uma subestação de alta tensão no bairro Aleixo.

Figura 51 - Subestação de alta tensão no bairro Aleixo



Fonte: dados de pesquisa (2017).

O surgimento da leucemia infantil pode estar relacionado a uma série de fatores que vão desde características genéticas até a exposição a longo prazo à CMEBF (ELWOOD, 2017). Nos ambientes residenciais dos bairros analisados os níveis de intensidade de RNI foram superiores ao limite de $0,4 \mu\text{T}$, estabelecido como condição de risco aos moradores no contexto dessa doença, segundo os autores Alhbom *et al* (2000), Calvente *et al* (2010), Rööslí (2011), Sage (2012), Zaryabova (2013), Grellier (2015), Huss (2016).

Para os apartamentos analisados no bairro Manaíra (Residências 4, 5 e 6) os níveis médios de RNI para os ambientes “quarto”, “sala”, “cozinha” e “sala-cozinha” estiveram

no intervalo entre 1,075 e 1,15 μT , superiores a 0,4 μT . Para o AAT analisado no bairro Aleixo o nível médio de intensidade de RNI no ambiente “sala-cozinha” foi de 1,24 μT . Para o ambiente “quarto” a oscilação permaneceu constante durante todo o processo de mensuração de RNI, atingindo níveis que ultrapassaram 12 μT .

Okuno (2012) relata que a constante oscilação das ondas eletromagnéticas faz com que ocorra uma agitação das moléculas de água existentes no corpo humano, podendo provocar um aquecimento de até 0,32° C no tecido humano após uma exposição de 30 minutos. De acordo com Havas (2017) a oscilação constante dos CMEBF podem causar danos à saúde do ser humano, ocasionando o acúmulo de radicais livres em decorrência do stress oxidativo das células dos tecidos humanos.

De acordo com os estudos de Albhom *et al.* (2000), um ambiente residencial exposto à RNI, nas faixas de frequência de 50 Hz ou 60 Hz, a níveis superiores à 0,4 μT duplica as chances da ocorrência da leucemia em crianças. Os resultados desses estudos foram cancelados pela *International Agency of Research on Cancer* (IARC, 2002) para definir a radiação não ionizante como possível elemento cancerígeno.

O estudo epidemiológico internacional *TransExpo* foca na intensidade do campo magnético em AAT e ressalta que a leucemia infantil pode estar relacionada à exposição a campos magnéticos em faixas de frequência muito baixas. Há um consenso de que a redução das incertezas científicas nos estudos que mensuram os níveis de exposição à CMEBF é um objetivo relevante, suscitando novos estudos, diferentes dos realizados até então (HAREUVENY *et al.*, 2011; GRELLIER *et al.*, 2013).

Pesquisadores que realizaram investigações, tendo o estudo internacional *TRANSEXPO* como metodologia (ILONEN *et al.*, 2008; THURÓCZY *et al.*, 2008; HAREUVENY *et al.*, 2011; RÖÖSLI, 2013), constataram níveis de exposição dos indivíduos residentes em edificações verticais adjacentes a transformadores de energia elétrica superiores aos níveis descritos como prejudiciais em diversos estudos epidemiológicos sobre o tema (\gg 0,4 μT , na faixa de 50-60Hz). Os dados do projeto *TRANSEXPO*, assim como outros que focam nessa temática, estão sendo avaliados pela *International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) com o objetivo de uma reavaliação nos limites normativos de exposição pelo órgão que vigoram desde o ano de 1998.

Segundo Elwood (2017), o risco de leucemia em crianças é acentuado pela exposição à RNI em longos períodos com níveis de intensidade acima de 0,3 ou 0,4 μT , os quais são produzidos por sistemas de energia elétrica doméstica. Segundo o mesmo autor, a Leucemia é uma doença complexa com muitos subtipos de diferentes etiologias, que pode estar vinculada a exposições genéticas, nutricionais e ambientais. Assim, é de fundamental importância investigar de maneira mais profunda a relação entre tais exposições, em particular as ambientais e a leucemia em crianças.

Sage (2012) destacou que há evidências científicas de que os efeitos biológicos da exposição à RNI de extrema baixa frequência são surpreendentemente semelhantes aos da exposição à baixas doses de radiação ionizante. O autor ressalta que existem provas científicas de que campos eletromagnéticos de extrema baixa frequência são genotóxicos, uma vez que provocam estresse oxidativo, que resulta em danos ao DNA (micronucleação, danos no DNA de cadeia simples e dupla, instabilidade do genoma e aberrações cromossômicas persistentes) e falha na reparação de danos ao DNA.

6 CONCLUSÕES

As radiações eletromagnéticas podem se transformar num dos maiores problemas dos próximos anos, principalmente para as pessoas que estão expostas por longos períodos em ambientes que não possuem controle. A inserção de novas tecnologias nos ambientes de trabalho e domésticos estão proporcionando diversas facilidades para o exercício de atividades e lazer com mais rapidez, precisão e conforto, mas carecem de certo controle pois podem causar danos à saúde das pessoas.

Esta dissertação apresenta análises da exposição de ambientes residenciais de edificações verticais à radiação não ionizante na frequência da rede elétrica local (60Hz) localizadas em diferentes regiões brasileiras com características distintas entre si. Estas residências estão expostas a algumas fontes internas e/ou externas que produzem níveis de radiação de baixa frequência como torres de alta tensão, transformadores de energia elétrica, aparelhos celulares, redes wireless e os eletrodomésticos geladeira, fogão, cafeteira, aparelhos de climatização, televisão, dentre outros.

Ressalta-se que a exposição em períodos longos à radiação eletromagnética produz riscos ao meio ambiente e à saúde humana, podendo expor as pessoas à poluição eletromagnética. E, diversos estudos associam a exposição à radiação não ionizante a eventuais problemas epidemiológicos aos seus usuários.

Nesta investigação constatou-se em alguns ambientes de certas residências níveis elevados de radiação não ionizante. E ao longo das últimas duas décadas, a exposição residencial a campos magnéticos de extrema baixa frequência tem sido associada a leucemia infantil em consistentes estudos epidemiológicos, embora a causalidade ainda esteja sob investigação.

À luz da literatura e com base nos resultados emergidos desta dissertação, levando-se em consideração o crescimento urbano, o que proporciona uma proximação maior entre os edifícios; o número de equipamentos eletrônicos utilizados nos ambientes residenciais; e considerando que os apartamentos das edificações verticais apresentaram estações de transformadores de energia elétrica internas, as seguintes conclusões acerca da avaliação dos níveis de radiação não ionizante dos ambientes residências de edificações verticais em áreas das regiões brasileiras são apresentadas a seguir:

1. Os ambientes “sala”, “quarto”, “cozinha” e “sala-cozinha” das residências obtiveram níveis de radiação não ionizante superior a $0,4 \mu\text{T}$, o que pode

- promover riscos aos moradores conforme pesquisas realizadas por diversos pesquisadores internacionais;
2. Os níveis de radiação não ionizante nos ambientes cozinha e sala-cozinha na maioria das edificações foram superiores aos outros ambientes sala e quarto devido à emissão de radiação proveniente de diversas fontes de equipamentos eletroeletrônicos;
 3. O ambiente “sala” da edificação do bairro Manaíra localizado na cidade de João Pessoa obteve níveis de radiação não ionizante não inferior aos níveis dos outros ambientes dessa edificação devido estar localizada meio à concentração de edifícios com altura entre 26 a 29 m, o que dificulta a dissipação da radiação de volta para atmosfera;
 4. O ambiente “quarto” de uma edificação do bairro Aleixo na cidade de Manaus apresentou níveis de RNI em torno de $2\mu\text{T}$ e oscilação de $11,8\mu\text{T}$. Estes altos níveis de RNI estão vinculados à adjacência de transformadores de energia elétrica, à edificação estar circundada por linhas de transmissão e pela edificação estar localizada em um nível de terreno abaixo do relevo natural, proporcionando assim a concentração dos níveis de radiação dentro dos limites do condomínio;
 5. A proximidade das residências a transformadores de energia elétrica com potência em torno de 110 e 500 KVA acarretaram oscilações constantes de $11,8\mu\text{T}$ e $5,1\mu\text{T}$ dos níveis de radiação não ionizante nos ambientes “quarto” e “sala” respectivamente das edificações dos bairros Aleixo, cidade de Manaus, e Águas Claras, cidade satélite de Brasília;
 6. O bairro Manaíra da cidade de João Pessoa apresentou casos de leucemia infantil, sendo que esse bairro é a maior ilha de calor da cidade de João Pessoa, onde suas edificações são próximas entre si e os níveis médios de radiação não ionizante em seus ambientes foram superiores a $1\mu\text{T}$; e
 7. O bairro Aleixo da cidade de Manaus apresentou ocorrência de casos de leucemia infantil, sendo que este bairro é considerado a ilha de calor mais intensa da cidade de Manaus, possui uma subestação de alta tensão, e os ambientes residenciais analisados apresentaram níveis de RNI superiores a $1,24\mu\text{T}$ com oscilação no ambiente “quarto” em torno de $11,8\mu\text{T}$.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE TELECOMUNICAÇÕES. **Resolução nº 303, de 02 de julho de 2002**. Aprova o Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em 04 de dezembro de 2017.

AHLBOM, A. *et al.* A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. **British Journal of Cancer**, v. 83, n.5, p. 692–698, 2000.

AKBARI, H.; MENON, S.; ROSENFELD, A. Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. **Climatic Change**, v. 94, n. 3-4, p. 275-286, 2009.

AKINBINU, T.R.; MASHALLA, Y.J. Impact of computer technology on health: Computer Vision Syndrome (CVS). **Medical Practice and Review**, vol. 5, n.3, p. 20-30, November. 2014.

ALLEN, S. G. *et al.* Proposals for basic restrictions for protection against occupational exposure to electromagnetic non-ionizing radiations. Recommendations of an International Working Group set up under the auspices of the Commission of the European Communities. **Physica Medica**, v.7, n.2, p. 77–89. 1991.

AINSBURRY, A.; Contactless sensing of appliance state transitions through variations in electromagnetic fields. In: **Proceedings of the 2nd ACM workshop on embedded sensing systems for energy-efficiency in building**. ACM, 2010. p. 19-24.

AVENDAÑO, C.; MATA, A.; SARMIENT, C.A.S.; DONCEL, G.F. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. **Andrology**. v. 97. n 1. Janeiro de 2012.

BALBANI A. P.; KRAWCZYK, A. L. Efeitos da exposição aos campos eletromagnéticos do telefone celular. **Revista Brasileira de Medicina**, v.4, p.87-96. 2009.

BALBANI, A. P. S.; KRAWCZYK, A. L. Impacto do uso do telefone celular na saúde de crianças e adolescentes. **Revista Paulista de Pediatria**, v.29, n.3, p.430-436, 2011.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. EDUFAL, 2007.164p.

BEHRENS, Thomas et al. Quantification of lifetime accumulated ELF-EMF exposure from household appliances in the context of a retrospective epidemiological case–control study. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 14, n. 2, p. 144-153, 2004.

BRASIL. **Lei nº 11.934, de 5 de maio de 2009**. Dispõe sobre limites à exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos; altera a Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/111934.htm>. Acesso em 04 de dezembro de 2017.

BRASIL. **Portaria nº 3214, de 08 de junho de 1978**. Aprova as Normas Regulamentadoras do Ministério de Estado do Trabalho, no uso de suas atribuições legais, considerando o disposto no art. 200, da Consolidação das Leis do Trabalho, com redação dada pela Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Brasília, 1978. Disponível em: <[http://acesso.mte.gov.br/data/files/FF8080814FF112E801529E4EFC2C655F/Portaria%20n.%C2%BA%203.214%20\(aprova%20as%20NRs\).pdf](http://acesso.mte.gov.br/data/files/FF8080814FF112E801529E4EFC2C655F/Portaria%20n.%C2%BA%203.214%20(aprova%20as%20NRs).pdf)>. Acesso em 06 de dezembro de 2017.

BRASIL. **Norma regulamentadora de Segurança e Saúde do Trabalho 15. (NR-15)** – Atividades e operações insalubres. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR-15.pdf>>. Acesso em 06 de dezembro de 2017.

BRODIĆ, D.; AMELIO, A. Classification of the extremely low frequency magnetic field fradiation measurement from the laptop computers. **Measurement Science Review**, v. 15, n. 4, p. 202-209. 2015.

BRODIĆ, D. Measurement of the extremely low frequency magnetic field in the laptop neighborhood. **Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia**, n. 76, p. 39-45, 2015.

BURCH, J.B.; REIF, J.S. YOST, M.G.; KEEFE, T.J.; PITRAT, C.A. Reduced Excretion of a Melatonin Metabolite in Workers Exposed to 60 Hz Magnetic Fields. **American Journal of Epidemiology Copyright**, 1999.

CALVENTE, I.; FERNANDEZ, M. F.; VILLALBA, J.; OLEA, N.; NUÑEZ, M. I. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review. **Science of the Total Environment**, v. 408, n.16, p. 3062–3069, 2010.

CÂMARA, P. R. S. Effect of exposure to non-ionizing radiation (electromagnetic fields) on the human system: A literature review. **Jornal of Interdisciplinary Histopathology**, v.2, n.4, p. 187-190. 2014.

CAMPANHONI, Andiará. Implantação dos edifícios em Águas Claras-DF: influência no desempenho térmico ambiental dos espaços abertos. 2011.

CASTRO, A. Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica. 2002. 127p. Dissertação (Mestrado) - UNICAMP. Campinas. 2002
COMISSÃO INTERNACIONAL DE PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES NÃO-IONIZANTES (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). **Health Physics**, v. 74, n.4, p. 494-522. 1998.

CAVALCANTE, I; FERNANDEZ, M.F.; VILLALBA, J; OLEA, N.; NUÑEZ, M.I. Exposure to electromagnetic fields (non-ionizing radiation) and its relationship with childhood leukemia: A systematic review. **Science of the Total Environment Journal**, 2010.

CHAVES, E.C. **Medida do comprimento da peça intermediária da cauda de espermatozoides humanos e sua correlação com a motilidade**. 2007 Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Saúde da Mulher da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CUNNINGHAM, A. M. Electromagnetic Fields: In Search of the Truth. **Popular Science**, v.239, n.6, p.86-90. 1991.

DRAPER, G.; VINCENT, T.; KROLL, M. E.; SWANSON, J.. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. **British Medical Journal**, v. 330, p.1-5. 2005.

ELWOOD, Mark. Epidemiological studies of low-intensity ELF fields and diseases in humans. In: WOOD, Andrew W.; KARIPIDIS, Ken. Non-ionizing – Radiation protection. USA: Wiley, cap. 20, p.313-321, 2017.

ESTIMATIVA, I. N. C. A. incidência de câncer no Brasil. **Rio de Janeiro: INCA**, 2017.

FEITOSA, Sônia Maria Ribeiro et al. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina-Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, p. 58-75, 2011.

FERREIRA, C. C. M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, p. 50-75. 2014.

FLODERUS, B. *et al.* Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden. **Cancer Causes Control**, v. 4, n. 5, p. 465-476. 1993.

GARCIA, R. V. *et al.* **Technologies and innovation**. Second International Conference, CITI: Guayquil, Ecuador. Proceedings 2016. 280 p.

GARTLAND, L. *et al.* **Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas**. Routledge, 2010

GENUIS, S.; LIPP, C. Electromagnetic hypersensitivity: fact or fiction?. **Science of the Total Environment**, v. 414, p. 103-112. 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIORGIO, S. **Autofagia celular em processos patológicos**. Semina: Ciências Biológicas e da Saúde, Londrina, v. 35, n. 1, p. 125-136, jan./jun. 2014.

GONÇALVES, M.A. **Implicações jurídicas em face dos riscos potenciais das radiações não ionizantes nas telecomunicações**. Faculdade de Direito da França. França, 2012.

GREENLAND, S. *et al.* Apooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. **Epidemiology**, v. 11, n.6, p. 624 – 634. 2000.

GRELLIER, J.; RAVAZZANI, P.; CARDIS, E. Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe. **Environment international**, v. 62, p. 55-63, 2014.

HAGSTRÖM, M.; AURANEN, J.; EKMAN, R. Electromagnetic hypersensitive finns: symptoms, perceived sources and treatments, a questionnaire study. **Pathophysiology**, v. 20, n.2, p. 117-122, 2013.

HÄMÄLÄINEN, Anna-Maija; HUSMAN, Tuula. Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. **Bioelectromagnetics**, v. 23, n. 4, p. 264-270, 2002.

HAREUVENY, R. *et al.* Exposure to 50Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations in Israel. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 21, n.4, p. 365–371, 2011.

HARRINGTON, J. M. *et al.* Leukaemia mortality in relation to magnetic field exposure: findings from a study of United Kingdom electricity generation and transmission workers, 1973–97. **Occupational and Environmental Medicine**, v. 58, n. 5, p. 307– 314. 2001.

HAVAS, M. Biological effects of non-ionizing electromagnetic energy: a critical review of the reports by the US National Research Council and the US National Institute of Environmental Health Sciences as they relate to the broad realm of EMF bioeffects. **Environmental Reviews**, v. 8, n. 3, p. 173-253. 2000.

HAVAS, M. Radiation from wireless technology affects the blood, the heart, and the autonomic nervous system. **Reviews on Environmental Health**, v. 28, n.2-3, p. 75-84. 2013.

HAVAS, M. When theory and observation collide: Can non-ionizing radiation cause câncer? **Environmental Pollution**, 221, 501-505, 2017.

HENSHAW, D. L. Does our electricity distribution system pose a serious risk to public health? **Medical Hypotheses**, v.59, n.1, p. 39–51, 2002.

HUSS, A. *et al.* Does apartment's distance to an in-built transformer room predict magnetic field exposure levels?. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 23, n. 5, p. 554-558, 2013.

HUSS, A. MURBACH, M; KUSTER, N.; KROMHOUT, H. Novel exposure units for at-home personalized testing of electromagnetic sensibility. **Bioelectromagnetics**, v. 37, n. 1, p. 62-68, 2016.

IEEE. Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. 2005.

ILONEN, K. *et al.* Indoor Transformer Stations as Predictors of Residential ELF Magnetic Field Exposure. **Bioelectromagnetics**, v. 29, n.3, p. 213-218, 2008.

INCA. ABC do câncer: abordagens básicas para o controle do câncer / Instituto Nacional de Câncer. – Rio de Janeiro: Inca, p. 128, 2017.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. **Non-ionizing radiation** - Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. Lyon: IARC, v.80. 2002.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). **For limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)**. 1998.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). **Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields**. 2009.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). **Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1Hz to 100 kHz)**. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA MUDANÇAS CLIMÁTICAS, ISSN 2179-5754, 2017. Disponível em <http://www.ccst.inpe.br/inct/INCT_report_digital_port.pdf> Acessado em 23/janeiro de 2017.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia .Dados de Estação Automática. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.

JOHANSSON, O. Electrohypersensitivity: state-of-the-art of a functional impairment. **Electromagnetic Biology and Medicine**, v. 25, n. 4, p. 245-258. 2006.

JOHANSSON, O. Section 08 - Evidence for effects on the immune system. In: SAGE, C.; CARPENTER, D. O. **BioInitiative report: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RFR)**. 2007.

JOHANSSON, O. Disturbance of the immune system by electromagnetic fields — a potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment. **Pathophysiology**, v. 16, n.2, p. 157–177. 2009.

JOSEPH, Wout et al. Comparison of personal radio frequency electromagnetic field exposure in different urban areas across Europe. **Environmental research**, v. 110, n. 7, p. 658-663, 2010.

KANDEL, S. *et al.* Magnetic Field Measurements near Stand-Alone Transformer Stations. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 157, n.4, p. 619–622, 2013.

KARIPIDIS, K. K. *et al.* Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of non-Hodgkin lymphoma. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 80, n.8, p. 663–670. 2007a.

KARIPIDIS, K. K. *et al.* Occupational exposure to ionizing and non-ionizing radiation and risk of glioma. **Occupational Medicine**, v. 57, n.7, p. 518–524. 2007b.

KHEIFETS, L. *et al.* Epidemiologic study of residential proximity to transmission lines and childhood cancer in California: description of design, epidemiologic methods and study population. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, v.25, n.1, p.45-52. 2015

KHEIFETS, L. *et al.* Future needs of occupational epidemiology of extremely low frequency electric and magnetic fields: review and recommendations. **Occupational & Environmental Medicine**, v. 66, n.2, p.72–80, 2009.

LAI, H. Section 6. Evidence for genotoxic effects. In: SAGE, C.; CARPENTER, D. O. **BioInitiative report: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RFR)**. 2007. Disponível em: <http://www.bioinitiative.org/report/wpcontent/uploads/pdfs/sec06_2007_Evidence_For_Genotoxic_Effects.pdf>. Acessado em 06 de dezembro de 2017.

LAI, L., CHENG, W., Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. **Science of the total environment**, v. 407, n. 8, p. 2724-2733, 2009

LABBAFINEJAD, Y.; AGHILINEJAD, M.; SADEGHI, Z. Association between Duration of Daily Visual Display Terminal Work and Sleep Disorders among Statistics Center Staff in Iran. **Iranian Red Crescent Medical Journal**, 2010.

LEITBEG, W; DECHANT, Engelbert. Exposure to electromagnetic fields in households—trends from 2006 to 2012. **Bioelectromagnetics**, v. 36, n. 1, p. 77-85, 2012.

LERCHL, A.; KLOSE, M.; GROTE, K.; WILHELM, A.F.X.; SPATHMANN, O.; FIEDLER, F.; STRECKERT, J.; HANSEN, V.; CLEMENS, M. Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, 2015.

LIBURDY, R.P. *et al.* ELF magnetic fields, breast cancer, and melatonin: 60 Hz fields block melatonin's oncostatic action on ER+ breast cancer cell proliferation. **Journal of Pineal Research**, v. 14, n. 2, p. 89-97, 1993.

MAGLI, Susanna *et al.* Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption. **International Journal of Energy and Environmental Engineering**, v. 6, n. 1, p. 91-99, 2015.

MARINO, A. A.; BECKER, R. O. High voltage lines. **Environment**, V.20, N.9, P.6-12, 1978.

MARTINS, R. A. Abordagens quantitativa e qualitativa. In: CAUCHICK MIGUEL, P. A. (coord.): Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, p. 45-61, 2010.

MATTOS, I.; KOIFMAN, S. Capítulo 1 - Campos eletromagnéticos e câncer: contribuições da epidemiologia. In: ESCOLA SUPERIOR DO MINISTÉRIO PÚBLICO DE SÃO PAULO (ESMP). **Poluição eletromagnética. Saúde pública, meio ambiente, consumidor e cidadania: impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares**. São Paulo: Caderno Jurídico, v 6, n° 2, p 288. 2004.

MATTOS, U.; MÁSCULO, F. **Higiene e Segurança do trabalho**. Rio de Janeiro: Elsevier/ Abrepro, 2011.

MCCOLL, N. *et al.* European Code against Cancer 4th Edition: Ionising and non-ionising radiation and cancer. **Cancer Epidemiology**, v. 39, n.1, p. 93–100. 2015.

MICHELOZZI, P. *et al.* Adult and childhood leukemia near a high-power radio station in Rome, Italy. **American Journal of Epidemiology**, v. 155, n. 12, p. 1096-1103, 2002.

MILLER, A.B.; TO, T.; AGNEW, D.A; WALL, C.; LOIS, M. Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric and magnetic fields among Ontario electric utility workers. **American Journal of Epidemiology**, v.144, n. 2, p. 150-160. 1996.

MOFRECOLA, G.; MOFFA, G.; PROCACCINI, E. M. Non-ionizing electromagnetic radiations, emitted by a cellular phone, modify cutaneous blood flow. **Dermatology**, v. 207, n. 1, p. 10–14. 2003.

MOREIRA, Pamella Karine Vecchi. Produção do espaço, qualidade de vida urbana e percepção dos moradores em Águas Claras, Distrito Federal. 2015.

MORRIS, C. J. G.; SIMMONDS, I. Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia. **International Journal of Climatology**, v. 20, n. 15, p. 1931-1954, 2016.

MUSLIM, M.; KOESMARYONO, Y. Analyse the urban energy balance of densely area Jakarta using single-layer urban canopy model. **Jurnal Teknologi**, v. 78, n. 5, 2016.

NETO, J.A.; CASTRO, B.F. Melatonina, ritmos biológicos e sono - uma revisão da literatura. **Rev. Bras. Neurol**, v.44, n.1, p. 5-11, 2008.

OKE, T. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment (1967)**, v. 7, n. 8, p. 769-779, 1973.

OKUNO, E. Epidemiologia do câncer devido a radiações e a elaboração de recomendações. **Revista Brasileira de Física Médica**, v.3, n.1, p. 43-55. 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Estabelecendo um diálogo sobre riscos de campos eletromagnéticos. **Radiação e saúde ambiental, Departamento de proteção do ambiente humano**. Genebra: 2002. Tradução de Hortencio A. Borges, providenciada pelo Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL).

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE / Programa das nações unidas para o meio ambiente / Associação Internacional de Proteção contra Radiação. **Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz)**. Environmental Health Criteria, n. 137. Genebra: 1993.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Extremely low frequency fields**. Environmental Health Criteria Monograph, n. 238. Genebra: 2007. 519 p.

PIERRE,J.; MARC-VERGNE. Electromagnetic hypersensitivity: The opinion of an observer neurologista. **Comptes Rendus Physique**, v.11, p. 564–575, 2010.

POOLE, C. et al. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternative- current transmission line right- of - way. **American Journal of Epidemiology**.v.137, p. 318- 330,1993.

REPACHOLI, M.H. Low - level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. **Bioelectromagnetics**, v.19, p. 1- 19,1998.

RÖÖSLI, M *et al.* Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. **Science of the total environment**, v. 409, n. 18, p. 3364-3369, 2011.

ROSSI, A. *et al.* Albedo control as an effective strategy to tackle Global Warming: A case study. **Applied Energy**, v. 130, p. 641-647, 2014.

SAGE, C.; CARPENTER, D. O. **BioInitiative report: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RFR)**. 2007.

SAGE, C.; CARPENTER, D. O. **BioInitiative report: a rationale for a biologically-based public exposure standard for electromagnetic fields (ELF and RFR)**. 2012.

SANTOS, J. S. *et al.* Campo Térmico Urbano e a sua Relação com o Uso e Cobertura do Solo em Cidade Tropical Úmida. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n. 3, p. 540-557. 2012.

SAVITZ, D. A.; LOOMIS, D. P. Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers. **American Journal of Epidemiology**, v. 141, n.2, p. 123–134. 1995.

SAVITZ, D. A.; CHECKOWAY, H.; LOOMIS, D. P. Magnetic field exposure and neurodegenerative disease mortality among electric utility workers. **Epidemiology**, v. 9, n. 4, p. 398–404. 1998.

SKULBERG, K.R.; SKYBERG, K.; EDUARD, W.; GOFFENG, L.O.; VISTNES, A.I.; LEVY, F.; KJUUS, H. Effects of electric field reduction in visual display units on skin symptoms. **Scand J Work Environ Health**, v.27. n.2, p.140—145, 2001.

SHEN, Y.; XIA,R.; JIANG, H.; CHEN, Y.; HONG, L.; YU, Y.; XU, Z; ZENG, Q. Exposure to 50 Hz-sinusoidal electromagnetic field induces DNA damage-independent autophagy. **International Journal of Biochemistry and Cell Biology**, 2016.

SILVA, D. F. *et al.* Exposição a radiações eletromagnéticas não ionizantes da telefonia celular e sintomas psiquiátricos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, n.10, 2110-2126, 2015.

SILVA, S.V.; LOUREIRO, J.M.C.; MOREIRA, P.L.; ALVES, A.L.M. **Leucemia infantil**. Trabalho de Licenciatura realizado para a disciplina de Saúde Mental e Psicologia da Saúde. 2004.

SOARES, T. M.; MENDONÇA, M. C. M. Construção de um modelo de regressão hierárquico para os dados do SIMAVE-2000. **Pesquisa Operacional**, v. 23, n.3, p. 421-441. 2003.

STEIN, Marine Lais; SNOWARESKI, Heloisa Honorato; PFÜTZENREUTER, Andréa Holz. Caminhabilidade: aplicação do projeto IAAPE em um trecho da área central da cidade de Joinville (SC). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 5, n. 35, 2017.

STRUCHEN, B. *et al.* Analysis of personal and bedroom exposure to ELF-MFs in children in Italy and Switzerland. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 26, n.6, p. 586 -596. 2015.

THURÓCZY, G. *et al.* Exposure to 50 Hz magnetic field in apartment buildings with built-in transformer stations in Hungary. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 131, n. 4, p. 469–473. 2008.

TORRÃO, A.S.; et al. Abordagens diferentes, um único objetivo: compreender os mecanismos celulares das doenças de Parkinson e de Alzheimer. **Revista Brasileira de Psiquiatria**. Out. 2012.

VALENZUELA, P. M. et al. Pediatria ambiental: um tema emergente. **Jornal de Pediatria**, v. 87, n. 2, p. 89-99. 2011.

WAGNER, F. *et al.* ILHAS DE CALOR NA CIDADE DE MANAUS: UM ESTUDO OBSERVACIONAL E DE MODELAGEM NUMÉRICA. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 9, p. 1387-1396, 2012.

WESSELING, L. A. E. **Monitoramento** de radiações eletromagnéticas não ionizantes no Brasil – Realidade e Possibilidades. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP) - Trabalho de conclusão do curso de Engenharia de Computação. 2014. 61 p.

WEST, J. G.; *et al.* Multifocal breast cancer in young women with prolonged contact between their breasts and their cellular phones. **Case Reports in Medicine**, v. 2013, n. 2013, 2013.

YITZHAK, N. *et al.* Time dependence of 50 Hz magnetic fields in apartment buildings with indoor transformer stations. **Radiation protection dosimetry**, v. 149, n. 2, p. 191-195, 2012.

YUAN, Fei; BAUER, Marvin E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote sensing of Environment**, v. 106, n. 3, p. 375-386, 2007.

ZARYABOVA, V.; SHALAMANOVA, T.; ISRAEL, M. Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects. **Electromagnetic biology and medicine**, v. 32, n. 2, p. 209-217, 2013.

ZIEGELBERGER, G. *et al.* International commission on non-ionizing radiation protection. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 92, n.1, p.1-3. 2006.