

ESCOLA SUPERIOR ABERTA DO BRASIL – ESAB

EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DE UMA TORRE CELULAR: “DISTÂNCIA SEGURA” E EFEITOS ADVERSOS A SAÚDE HUMANA

Moisés Marino Prado Fernandes¹

Resumo

Foi realizado a análise da exposição das Radiações Não Ionizantes (RNI) emitida por uma torre celular, estação rádio base (ERB), considerando todas as antenas instaladas a 40 metros em área residencial. Os valores da exposição a 1,7m do nível de solo calculados na simulação assim como os valores medidos in loco pela ANATEL foram comparados com os limites máximos permitidos no Brasil e no mundo. Foram também apresentados os principais estudos que fazem relação entre Radiofrequência (RF) e possíveis efeitos adversos, e comparados com os cálculos e valores de exposição medidos. O resultado dessa comparação mostrou que a exposição está bem abaixo de qualquer limite, o que aponta pela impossibilidade de efeitos adversos da exposição causada pela ERB em áreas residenciais.

Dentre os autores pesquisados para a constituição conceitual deste trabalho, destacaram-se Carr e Hippisley (2012), Banerjee (2015), Akimoto (2016), Villela e Oliveira (2018, apud Junior et al., 2018), dentre outros. A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória com coleta de dados por meio de pesquisa bibliográfica e experimental. O experimento foi realizado usando o software EMF Estimator para uma ERB em área residencial. As conclusões mais relevantes são que a exposição causada pela ERB selecionada em área residencial é extremamente abaixo dos limites nacionais permitidos, que a exposição não tem relação direta com a proximidade horizontal da ERB e que os efeitos adversos a saúde devido a exposição abaixo dos limites permitidos são improváveis e até o momento considerado inexistentes.

Palavras-chave: ANATEL. Estações Rádio Base (ERB). Exposição. Radiação Não Ionizante (RNI). Organização Mundial de Saúde (OMS).

¹Pós-graduando Lato Sensu em Sistemas de Telecomunicações na Escola Superior Aberta do Brasil – ESAB.
moisesmpf@gmail.com.

1. Introdução

Nas últimas décadas, houve um crescimento expressivo da telefonia celular que foi acompanhado pelo aumento de estações rádio base (ERB) para atender essa demanda. A radiação não ionizante (RNI) emitida por essas estações gera uma preocupação pública: a possibilidade dessas ondas eletromagnéticas emitidas pelas ERBs causarem risco a saúde, principalmente, quando a localização de estações rádio base estão próximos a escolas, hospitais e em áreas residenciais, devido às incertezas sobre a distância na qual elas seriam “seguras”; e sobre a possibilidade de a radiação emitida causar efeitos danosos a saúde como, por exemplo, o câncer.

Com o uso do conhecimento em telecomunicações e a busca de informações de ERBs em áreas residenciais foi possível realizar simulação de exposição a Rádio Frequência (RF) e comparar com medições in loco realizadas anteriormente pela ANATEL (2020). Os “efeitos térmicos”, da absorção das radiações não ionizantes (RNI) nos seres humanos, causados pela exposição aos campos eletromagnéticos não ionizantes foram avaliados segundo norma nacional e normas internacionais. Os “efeitos não térmicos” foram avaliados baseando nos principais estudos sobre o tema.

O objetivo geral é clarificar as incertezas sobre o tema: como se comporta o nível de exposição com a distância, e se os níveis encontrados são seguros, segundo os últimos estudos encontrados.

Esta pesquisa justifica-se, pois informará melhor a sociedade sobre a exposição causada pelas ERBs, principalmente em áreas residenciais, evitando, assim, demandas administrativas e judiciais visando a remoção de ERBs baseada tão somente no medo de possíveis malefícios a saúde. Isso se faz importante, pois para melhorar a cobertura, expandir os serviços de telecomunicações e, até mesmo, diminuir a exposição, é necessário o aumento do número de ERBs.

A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória com coleta de dados por meio de pesquisa bibliográfica e experimental. O experimento foi realizado usando o software EMF Estimator para uma ERB em área residencial

2. Desenvolvimento

2.1. Simulação E Análise De Medições In Loco

O software EMF Estimator foi usado para simulação da exposição dos campos eletromagnéticos de uma ERB em área residencial. Esse software é uma recomendação ITU-T K. 70¹ que trata de técnicas de mitigação para limitar a exposição humana a campos eletromagnéticos nas proximidades de estações de radiocomunicações. Os parâmetros utilizados foram extraídos do site da ANATEL, conforme a Tabela 1, localizada no Apêndice.

Os cálculos não levam em conta árvores, vegetação ou construções, portanto, os valores encontrados na simulação não serão idênticos aos valores medidos in loco. Os valores encontrados são para ambiente externo. Os ambientes internos possuem valores bem menores devido a atenuação e/ou reflexão das paredes, telhados, janelas e etc. A simulação teve como objetivo verificar a distribuição do campo eletromagnético na região e avaliar ao atendimento aos limites de exposição humana a CEMRF².

A exposição cumulativa, efeitos térmicos, foi calculada pelo software usando a fórmula abaixo:

$$W_t = \sum_{i=100kHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1$$

Onde E_i é o campo eletromagnético na frequência i e $E_{l,i}$ é o limite de referência para a frequência i .

¹ ITU-T refere-se ao setor de normatização das telecomunicações da International Telecommunication Union (ITU), a letra K refere-se a normas de proteção contra interferência.

² Campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequências entre 8,3 kHz e 300 GHz

Quando a inequação é obedecida, ou seja, menor ou igual a 1, os valores estão em conformidade com os limites Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP, 2018), usados no Brasil para fins de avaliação da exposição humana a CEMRF. Após preenchimento dos dados no EMF Estimator, conforme Figura 2, localizada no Apêndice deste, foi plotado o resultado sobre o mapa, conforme demonstrado abaixo:

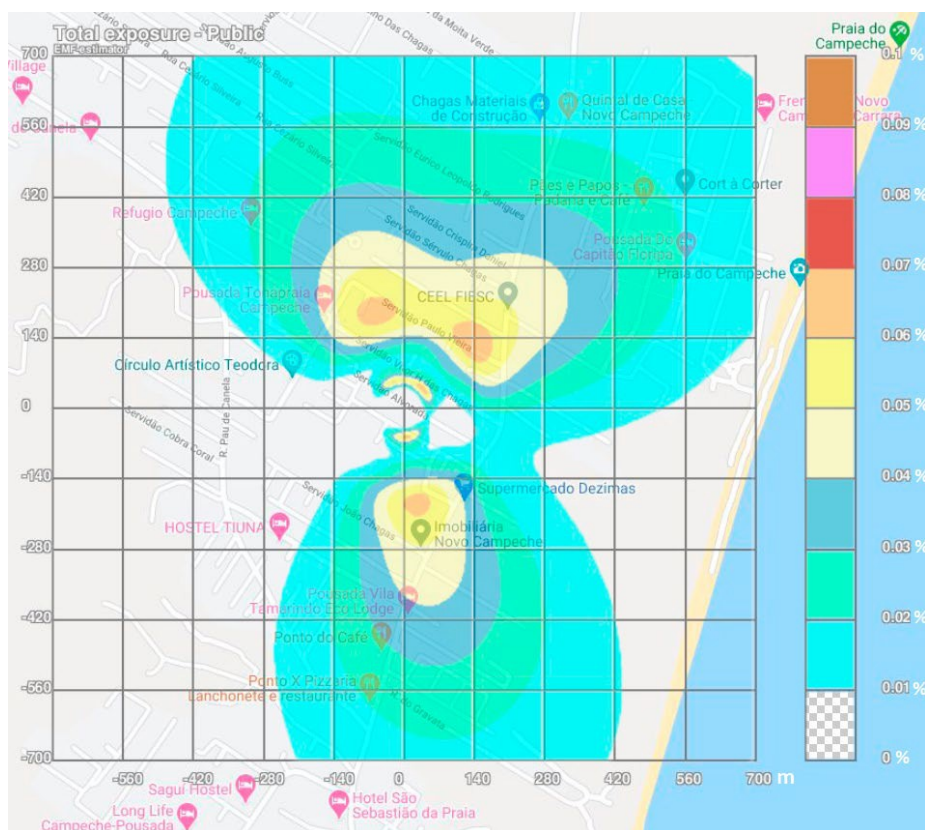


Figura 1: Simulação da exposição ao campo eletromagnético da ERB na região.
Fonte: Elaboração própria (2021).

Exposição ao campo elétrico de 100% significa atingimento do limite máximo permitido pela ICNIRP. Na simulação, o máximo encontrado foi 0,065% de exposição acumulada, ou seja, a ERB produz uma exposição extremamente baixa, bem abaixo dos limites, mesmo no seu pico. De forma ilustrativa, escolhendo 38,72 V/m como limite, considerando toda RNI no caso mais restritivo para a ERB em questão (ou seja, frequência de operação mais baixa, em torno de 793 MHz, e considerando o limite para população em geral, mais restritivo que o limite ocupacional) chegaríamos a uma exposição de 0,987 V/m ou 2,58mW/m² (CARR E HIPPISELY, 2012, p. 16).

Continuando a análise da Figura 1, é possível deduzir que existem antenas direcionadas em 3 azimutes diferentes (50° e 340° na parte superior, e 170° na parte inferior).

A exposição oscila com a distância (cores mais fortes e mais claras se intercalam) até 300 metros devido ao pico do lóbulo lateral e lóbulo principal, após 300 metros deixa de oscilar e a exposição diminui, cor amarela para azul clara.

No Gráfico 1, localizado abaixo, a exposição na vertical foi simulada. Percebemos que o atendimento aos limites CEMRF ocorre em distâncias menores que 10 metros em frente a antena (cor preta) e depois de 35 metros a exposição já está abaixo de 10% do limite (após área de cor roxa).

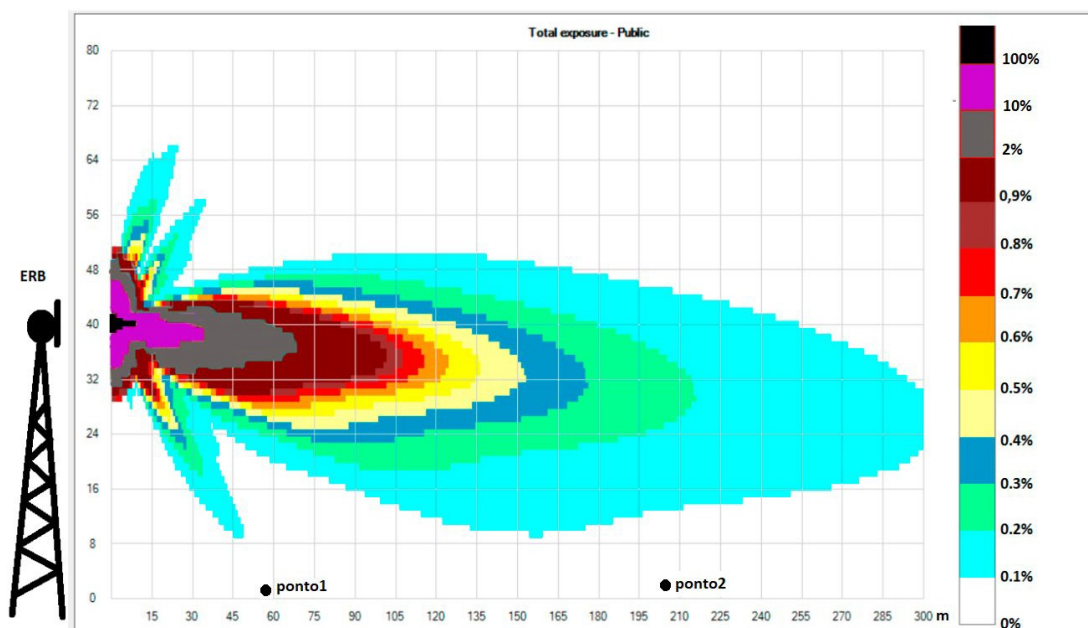


Gráfico 1: Simulação da exposição vertical ao campo eletromagnético da ERB³
Fonte: Elaboração própria (2021)

Nos pontos 1 e 2 apontados no gráfico acima, percebemos que a exposição estará menor que 0,1%, a nível de solo (1,7 metros). Essa situação é melhor visualizada no Gráfico 2 a seguir, onde um observador vai medindo a exposição da ERB (0m) até 600 metros, passando pelos dois pontos (no azimute de 50° graus)

³ Foram realizadas 2 simulações no EMF Estimator e plotadas no gráfico para que fosse possível visualizar a exposição de 0,1% a 100%.

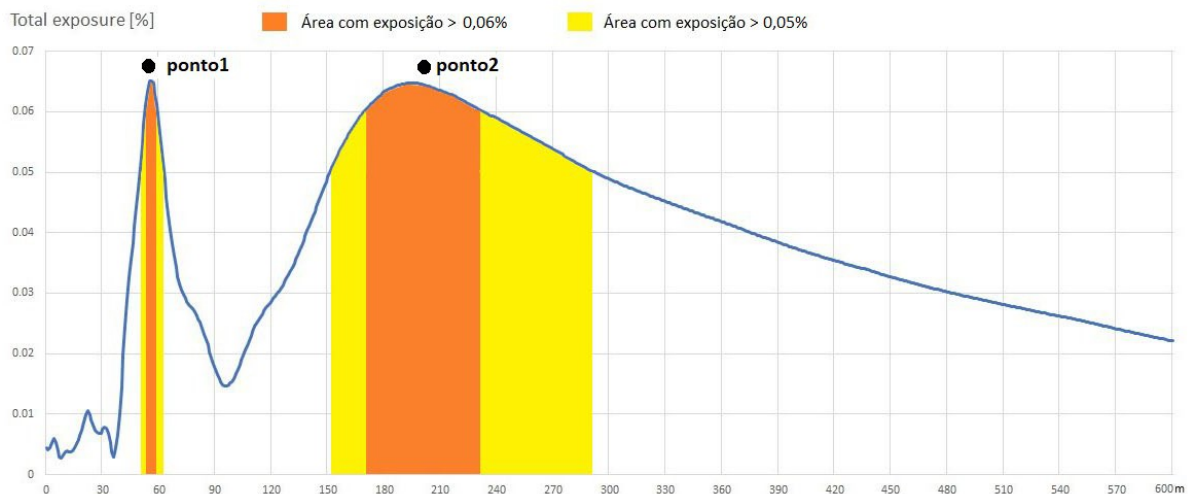


Gráfico 2: Variação da exposição com o distanciamento da ERB.

Fonte: Elaboração própria (2021).

Ainda conforme Gráfico 2, a exposição acumulada (Wt) oscila com a distância, tendo um pico a 58 metros – devido ao lóbulo lateral, porém uma maior abrangência e exposição está entre 150 metros e 300 metros da ERB⁴– devido ao lóbulo principal. Esse gráfico foi plotado na direção da antena – caso a região atingida não esteja exatamente na direção da antena (azimute 50° , 170° e 340°), os valores dos gráficos diminuem consideravelmente.

Segundo Filho (2015, p. 27), a localização e intensidade da máxima exposição dependem das características⁵ da antena instalada. Podemos ver a alteração dessa exposição no Gráfico 3, considerando a mesma antena, mas adicionado uma inclinação de 6 graus na antena (tilt mecânico).

Analisando o Gráfico 3 a seguir, os picos de exposição (pontos x e y) estão mais próximos do campo eletromagnético devido a inclinação da antena, resultando em uma exposição maior se comparado aos pontos anteriores (ponto 1 e 2), quando a inclinação mecânica era igual a zero.

⁴ Comportamento semelhante ao das figuras 4.11 e 4.12 de Filho (2015, p. 42).

⁵ Altura instalada, tilt elétrico e mecânico, diagrama de radiação, potência e etc.

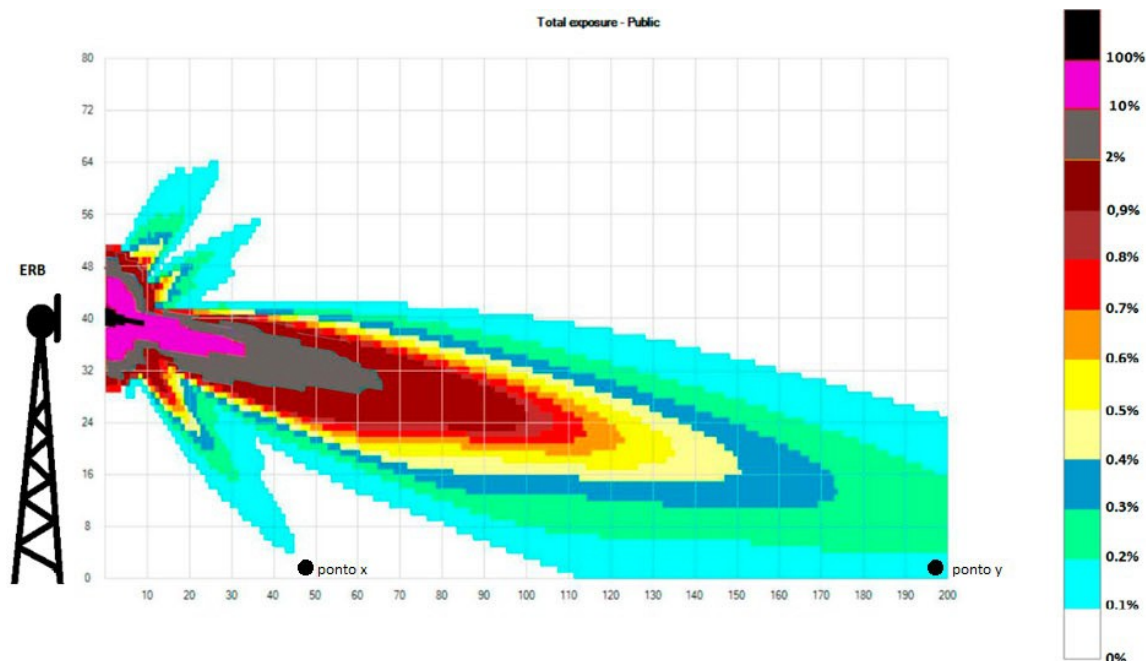


Gráfico 3: Exposição vertical ao campo eletromagnético da ERB com inclinação da antena em 6°.

Fonte: Elaboração própria (2021).

Essa diferença referente a máxima exposição pode ser vista melhor no Gráfico 4 abaixo:

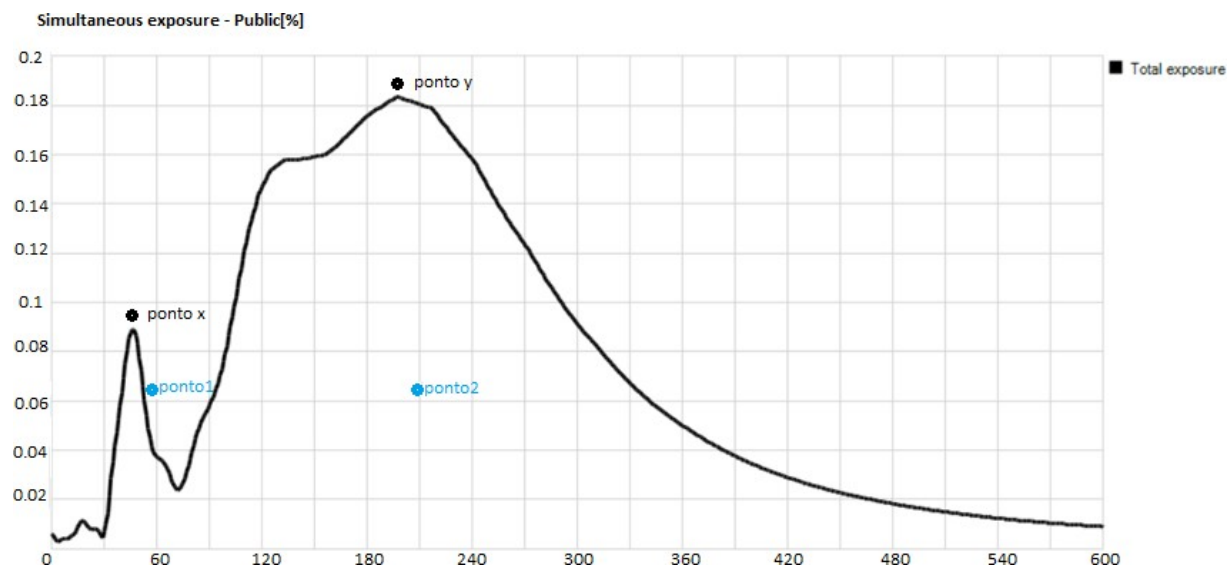


Gráfico 4: Variação da exposição com o distanciamento da ERB com inclinação da antena em 6°.

Fonte: Elaboração própria (2021).

Percebemos que com a adição de inclinação mecânica de 6° da antena, a exposição máxima é bem maior que a antena sem inclinação, embora ainda estejam com exposição bem abaixo dos limites: 0,09% e 0,18% respectivamente para distância de 50 e 200 metros da ERB.

Ficou evidenciado via simulação 3 pontos importantes:

- A exposição a nível de solo gerado pela ERB com antenas instaladas a 40 metros de altura é bem abaixo dos limites estipulados, mesmo com inclinação da antena;

- A exposição depende das características da antena⁶ e medições reais têm mostrado que a distância até a estação rádio base não é uma boa representação da exposição (IARC, 2012, p. 407), devido à considerável variabilidade nas características das antenas, blindagem e reflexão das ondas;

- Exposição diminui drasticamente devido à altura da antena instalada: na antena em questão de 40 metros, por exemplo, vemos uma atenuação na densidade de potência a nível do solo em mais de 60 dB, ou seja, redução de mais de 1 milhão de vezes, considerando apenas a perda por propagação em espaço livre – *free space path loss*: FSPL – (BANERJEE, 2017, p. 78).

Além da simulação (pico de 0,987 V/m ou 2,58mW/m²), medições realizadas pela ANATEL (ver Anexo 1) no local comprovam que a exposição está muito abaixo de todos os limites da tabela da OMS⁷ (visualizar Anexo 2), composta por dezenas de países, estando na ordem de $\mu\text{W}/\text{m}^2$, chegando ao valor médio máximo de 0,86 V/m ou 1,96 mW/ m², portanto, atende as normas mais restritivas, como por exemplo a da Bulgária e Itália no qual o limite é de 100mW/m² (ou 0,1W/m²).

Mas esses valores extremamente baixos trariam algum risco a saúde? Para responder, vamos mostrar a improbabilidade de ser um risco a saúde, baseado na natureza da onda eletromagnética que possui relativamente baixa frequência nas faixas 2G, 3G, 4G e 5G para ser danosa, posteriormente mostraremos conclusões de diversos importantes estudos sobre o tema.

⁶ Diagrama de radiação, potência transmitida, frequência, tilt elétrico, tilt mecânico e etc.

⁷ World Health Organization (WHO)

2.2. Efeitos Diretos

Ondas eletromagnéticas, assim como a luz visível, emitem fótons. Esses possuem energia que pode ser calculada pela equação de Planck-Einstein, $E = h \cdot f$, onde E é a energia do fóton, h é a constante de Planck e f é a frequência da radiação emitida.

Portanto, quando a frequência é muito alta, a energia do fóton emitido pela onda eletromagnética também é alta, podendo chocar-se com átomos e moléculas sendo capaz de ionizá-las (retirar elétrons). De acordo com Akimoto (2016, p. 17), na estratosfera, o fóton da luz ultravioleta tem energia suficiente para retirar o elétron de uma molécula de oxigênio O_2 , quebrando a ligação covalente existente, e transformando em 2 átomos de oxigênio que depois se recombinam com moléculas de O_2 formando moléculas de O_3 (ozônio).

Baseado nesse mesmo princípio, radiações ionizantes, como a da luz ultravioleta, são capazes de gerar câncer através da quebra de ligações covalentes existentes nas moléculas do DNA. Não só a luz ultravioleta, mas qualquer radiação que emita fótons com alta energia tem a possibilidade de quebrar moléculas do DNA, como por exemplo, radiação alfa, beta, gama, raios X e etc., podendo causar câncer.

O Figura 1 abaixo facilita a visualização do espectro eletromagnético de 3KHz até 300 EHz (de não ionizante a ionizante):

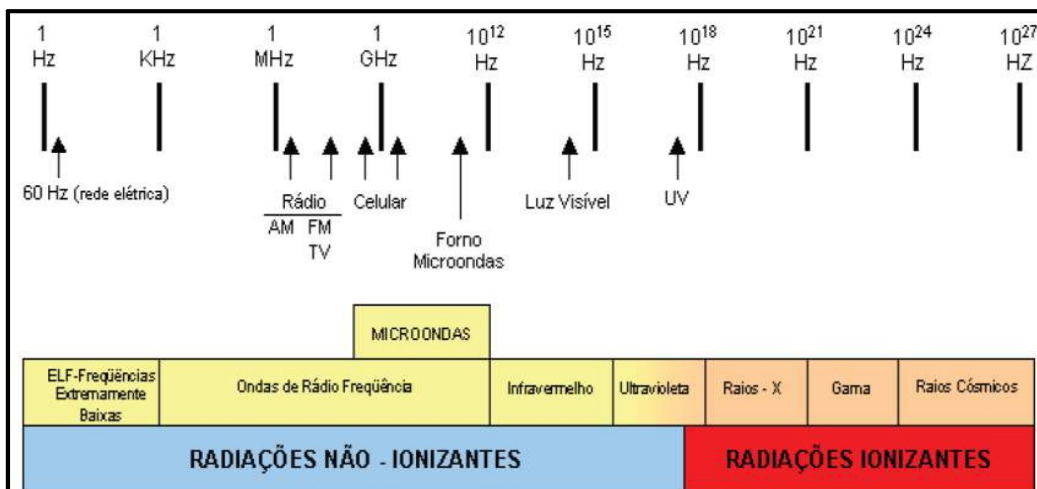


Figura 1: Espectro eletromagnético
Fonte: SALLES (2004).

Em relação a radiações não ionizantes como a de uma ERB, temos as tecnologias 2G, 3G e 4G que são limitadas a faixas de frequência bem menores que a do 5G. Então consideraremos a pior hipótese, ou seja, a radiação emitida pelas antenas de uma ERB de telefonia celular, com a implantação futura do 5G, que pode possuir espectro na faixa de 30GHz. E com 30 GHz e usando a fórmula $E=h.f$, obtemos uma energia de fóton máxima de 0,124 m eV (elétron-volt).

Podemos fazer uma relação desse valor com o gráfico de energia necessária para ionização de cada elemento na tabela periódica:

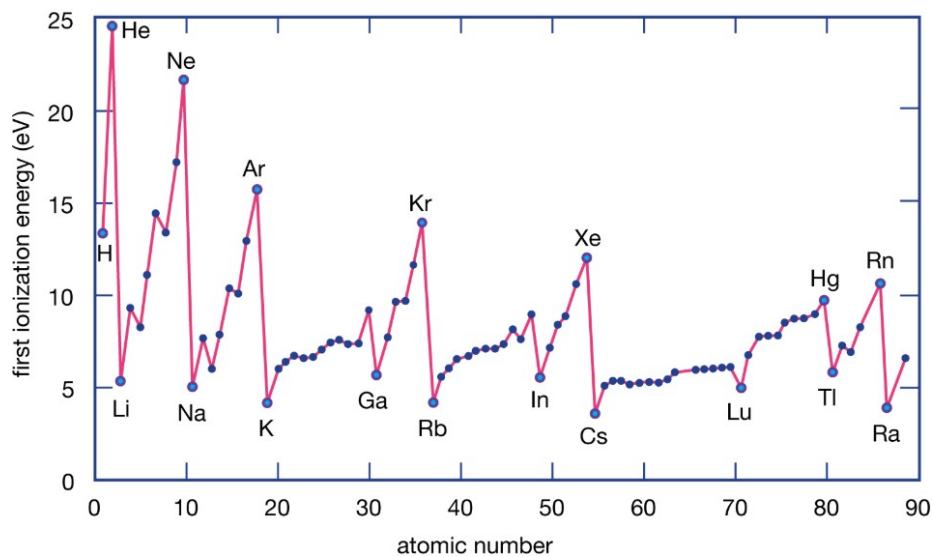


Gráfico 5: Gráfico de energia de ionização
Fonte: BRITANNICA (2020).

Conforme podemos observar no gráfico 5, nem mesmo o elemento químico com menor potencial de ionização – o Césio (Cs), é ionizado pela emissão de fótons do 5G, visto que a energia do fóton emitida é 31427 vezes menor que o necessário (3,897 eV).

Muito menos a energia do fóton emitida pelo 5G (0,000124 eV) conseguiria diretamente ionizar e conseqüentemente quebrar ligações existentes no DNA, que necessitam de no mínimo 4.9 eV para que isso ocorra (LUGASSY E SMITH, 2014).

Por essa razão, a própria Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC, 2012, p. 35) afirma que a radiação usada em telefonia celular não tem energia suficiente para diretamente produzir um dano genético.

2.3. Efeitos Indiretos

Conforme a Organização Mundial de Saúde (2014), muitos estudos foram conduzidos nas últimas duas décadas para avaliar se telefones celulares constituem um risco potencial à saúde. Até o momento, não foi estabelecido nenhum efeito adverso à saúde causado pela RNI e mesmo nos celulares que produzem exposição de campos eletromagnéticos de centenas a milhares de vezes mais fortes que o campos produzidos pelas ERBs, ainda não há nenhuma evidência consistente de efeitos adversos à saúde causados pela exposição a campos de radiofrequência em níveis abaixo daqueles que causam aquecimento de tecidos – abaixo dos limites da ICNIRP que é adotada por muitos países, inclusive o Brasil.

O alvo da análise na maioria dos estudos é a exposição emitida pelo celular porque, apesar da pequena potência, produz exposição bem maior do que uma ERB por estar bem mais próximo do usuário.

Em 2011, a IARC (2012, p.419) classificou a RNI como possivelmente carcinogênico – grupo 2B, das 5 classificações possíveis: carcinogênico para humanos (grupo 1), provavelmente carcinogênico para humanos (grupo 2A), possivelmente carcinogênico para humanos (grupo 2B), não classificável como carcinogênico para humanos (grupo 3) e provavelmente não carcinogênico para humanos (grupo 4).

O estudo que contribuiu para essa classificação no grupo 2B foi o estudo em larga escala de grupo de controle, o *Interphone* (IARC, 2011), realizado para avaliar os efeitos do uso do celular e a relação com câncer no cérebro. Foram incluídos no estudo 14 grupos diferentes de casos e controle em 13 países, 8 na Europa, 1 na Austrália, Canadá, Israel, Japão e Nova Zelândia.

A pesquisa comparou o uso de celular para 2765 casos de glioma, 2425 casos de meningioma, 1121 casos de neuroma acústico e 109 casos de tumor na glândula parótida com seus respectivos grupos de controle (sem a doença).

Ao final, o estudo foi não conclusivo. E por esse motivo a IARC usou o estudo do *Interphone* (IARC, 2011) como justificativa para classificá-lo no grupo 2B. Porém a característica desse grupo, possivelmente carcinogênico, costuma ser mal interpretada por pessoas em geral, por isso detalharemos melhor o estudo que contribuiu fortemente para essa classificação.

Uma forma de verificar se exposição aos campos eletromagnéticos de radiofrequência pode causar câncer é usando um método comparativo, chamado de estudo de caso controle. Nesse tipo de estudo, de acordo com Villela e Oliveira (2018, apud Junior et al., 2018), é feito uma comparação em 2 grupos de indivíduos, aqueles que foram acometidos pela doença (casos) e aqueles que não foram (controle). Pesquisadores então coletam os dados sobre a exposição que potencialmente causariam a doença em ambos os grupos, casos e controle, e verificam se a exposição contribuiu ou não para a doença.

Por exemplo, a evidência de que fumar causa câncer de pulmão pode vir de estudos usando grupos de controle, pessoas que tem câncer de pulmão tem maior probabilidade de ter longo histórico de hábito de fumar muito, diferentemente de grupos de controle sem câncer de pulmão.

No estudo *Interphone* (IARC, 2011) computaram a probabilidade de ter meningioma, glioma, neuroma acústico e tumor na parótida para usuários regulares de telefone celular (em média, 1 ligação por semana por 6 meses ou mais) e para usuário de telefones celulares não regulares (fizeram poucas ligações ou não usavam telefones celulares) e então calcularam a razão dessas chances.

A *Odds Ratio* (ou razão das chances) é a medida de associação entre a frequência de exposição e a frequência do desfecho (acometido a doença). Assim visa a determinar se a chance do grupo exposto é maior ou menor que a do grupo não exposto de desenvolver a doença.

Nesse estudo, *odds ratio* maiores que 1 indicam que usuários regulares tem maior risco de desenvolver câncer que não usuários, e uma ratio menor que 1 significa que usuários regulares tem menor risco de desenvolver câncer que não usuários.

Os resultados do estudo *Interphone* (IARC, 2011), referente a glioma e meningioma ⁸, indicavam que o uso de telefone celular tinha um efeito protetor, reduzindo o risco de câncer para usuários regulares de telefone celular. Em busca de mais informações, esses dados também foram analisados dividindo-os em 10 grupos, baseado na quantidade de horas utilizadas de telefone celular. Nesses 10 grupos foram calculados os *odds ratio* e seus respectivos intervalos de confiança, gerando o Gráfico 6, para glioma⁹:

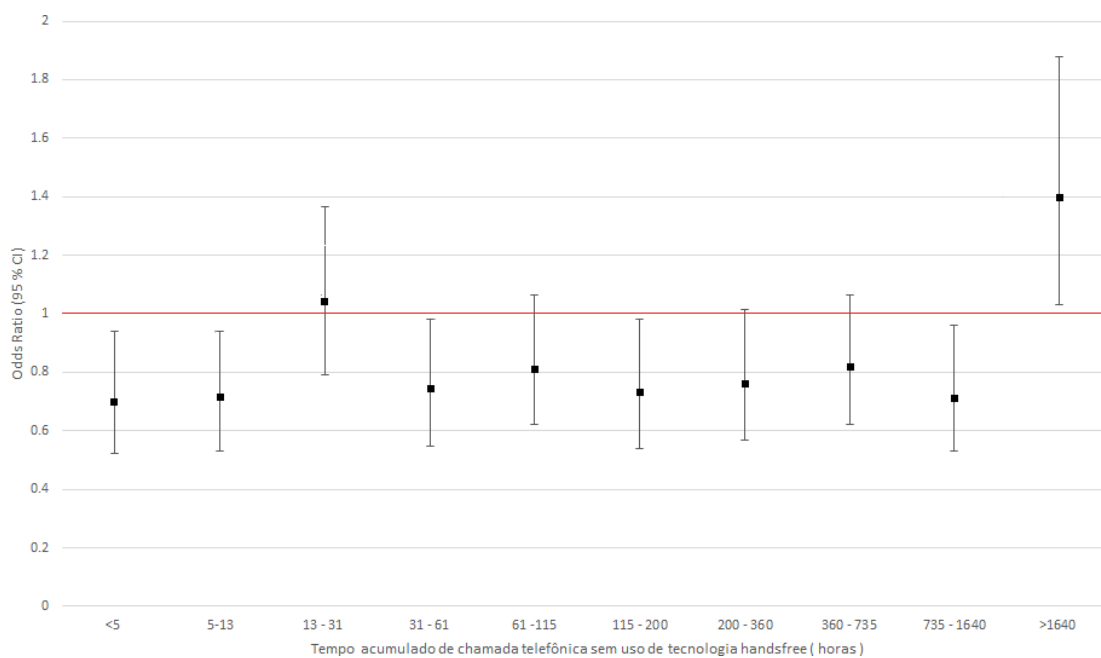


Gráfico 6: Estudo caso controle sobre uso de celular e o câncer no cérebro (Glioma), baseado no IARC (2012, p. 211).

Fonte: Elaboração própria (2021).

Visualizando o Gráfico 6 e considerando os intervalos de confiança, verificamos uma tendência que difere de agentes carcinogênicos como o cigarro: não há um aumento no risco de câncer com o aumento do tempo de exposição ao telefone celular, como ocorre, por exemplo, em gráficos que comprovam que fumar aumenta o risco de câncer, como mostra o Gráfico 7 a seguir:

⁸ Para simplificar não houve análise para neuroma acústico e tumor na glândula parótida, embora ambos tenham Odds ratio abaixo de 1 para usuários regulares, com resultados igualmente limitados ou inadequados.

⁹ Para meningioma e neuroma acústico os gráficos foram similares.

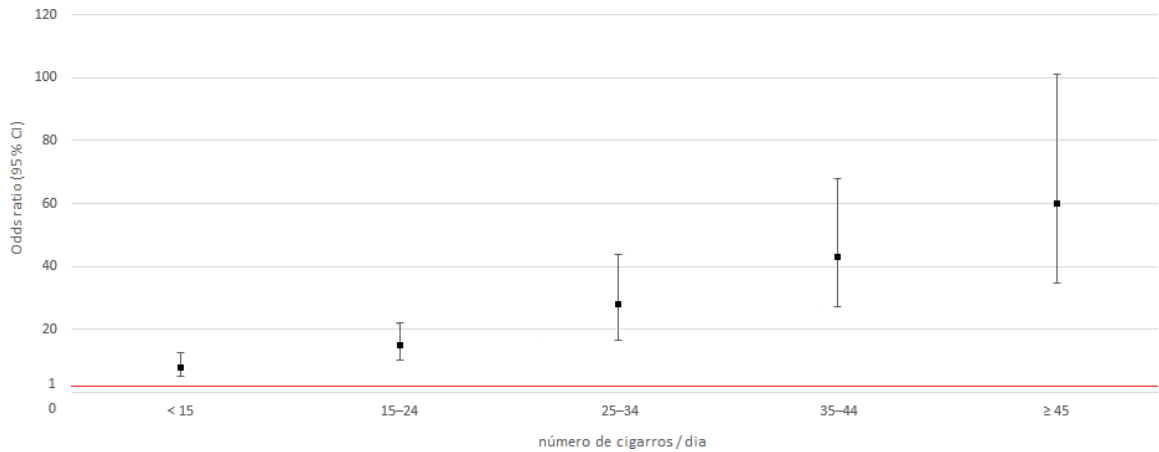


Gráfico 7: Representação gráfica do estudo de caso do controle sobre o tabagismo e o câncer de pulmão, baseado no IARC (2004, p. 208).

Fonte: Elaboração própria (2021).

Um dos maiores problemas com casos de grupos de controles, como o usado no *Interphone* (IARC, 2011), é o viés de memória (informação), pois existe uma grande possibilidade de que o grupo de indivíduos acometidos a doença (casos) se recorde diferente do grupo não acometido a doença (controle) em relação ao tempo e forma de exposição. Esse tipo de viés poderia explicar, por exemplo, os resultados obtidos no gráfico em que o *odds ratio* dos usuários com uso maior que 1640 horas obteve valor maior que 1.

Como bem explica Villela e Oliveira (2018, apud Junior et al., 2018), uma maneira de evitar esse erro devido a memória dos indivíduos seria obter o máximo de registros sobre a exposição de ambos os grupos. E foi exatamente isso que ocorreu no *Interphone* (IARC, 2011): o histórico das ligações de alguns participantes foram gravados e após a verificação de dados feita em 672 voluntários confirmou a tendência de superestimativa do uso de celular para usuários que usavam muito (*heavy users*) e uma subestimativa para usuário que usavam pouco o celular (*light users*).

Finalmente, os cientistas envolvidos no estudo *Interphone* (IARC, 2011), concluíram que os principais resultados do estudo - o efeito protetor do celular na diminuição de câncer assim como o efeito de aumento do risco de câncer para o grupo com uso de celular maior que 1640 horas- não estavam claros o suficiente e poderiam ser atribuídos ao viés de seleção e viés de memória.

E baseado no princípio da precaução, a radiação não ionizante emitida pelos celulares foi classificada pela IARC (2011, p.2) como possivelmente carcinogênica (grupo 2B), a fim de que as pessoas reduzam a exposição, enquanto não há um estudo definitivo que comprove que o aumento de cancer relacionado aos *heavy users* não existe e que houve, de fato, um erro no estudo *Interphone* (IARC, 2011) para o grupo com mais de 1640 horas.

2.4. Posicionamentos De Órgãos De Saúde Em Outros Países E Estudos Recentes

A agência federal do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos, Food and Drug Administration (FDA, 2020), analisa regularmente diversos estudos científicos e publicações em busca da evidência dos efeitos negativos na saúde provocados pela exposição a radiofrequência emitida pelos celulares. E, segundo eles, os 30 anos de evidência científica não conseguem demonstrar a relação entre a exposição a radiofrequência do uso dos celulares com problemas na saúde, como, por exemplo, o câncer.

O mesmo órgão monitora e analisa os dados de saúde pública sobre as taxas de câncer na população dos EUA. E os dados encontrados por eles demonstram que não há um aumento generalizado de câncer no cérebro ou qualquer outro tipo de câncer no sistema nervoso nos últimos 30 anos, apesar do aumento enorme no uso do celular durante esse período. Na verdade, as taxas de câncer no cérebro e no sistema nervoso diagnosticados nos EUA diminuíram nos últimos 15 anos (FDA, 2020).

Estudos mais agressivos ainda continuam sendo implementados para tentar provar a relação entre a radiofrequência e o câncer ou outros problemas de saúde.

Em 2018, por exemplo, o Programa Nacional Toxicológico, National Toxicology Program (NTP, 2018), publicou os resultados de um estudo no qual altíssimos níveis de RF foram aplicados em ratos, 75 vezes mais altas que o limite recomendável, ou no caso concreto,

mais de 1 milhão de vezes¹⁰ mais alta que a exposição da ERB em questão foram aplicados em ratos. A exposição a essa radiação era aplicada em intervalos de 10 em 10 minutos por 18 horas e 20 minutos todos os dias, durante 2 anos (equivalente a 70 anos para seres humanos segundo cientistas do NTP) em todo o corpo do rato.

Embora nesse estudo exista uma observação parcialmente positiva em relação ao câncer e a exposição a RNI, a própria NTP alerta que os efeitos observados são relativamente raros e que não podem ser extrapolados para o caso de uso humano de celulares, conforme consta no comunicado de imprensa da NTP (2018).

Portanto, se essas descobertas não podem ser extrapoladas para o uso humano de telefones celulares, muito menos poderiam ser extrapoladas para as ERBs, visto que a exposição a nível de solo gerada pelas radiações das ERBs é muito menor que a dos celulares.

E nesse sentido a Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ICNIRP, 2018) revisou esse estudo da NTP e manifestou que as limitações dele não permitia tal conclusão de que a RF poderia causar câncer.

Outro estudo importante relacionado ao risco de câncer no cérebro devido a exposição ondas de RF em adolescentes e crianças (MOBI-KIDS¹¹) já foi finalizado e não publicado, pois está pendente de revisão.

Porém, o estudo internacional CEFALO realizado na Dinamarca, Suécia, Noruega e Suíça sobre o mesmo tema, uso de telefones celulares e tumores cerebrais em crianças e adolescentes, no qual incluiu crianças que foram diagnosticadas com tumores cerebrais entre 2004 e 2008, concluiu que não foi encontrado associação entre uso de telefones celulares e risco de câncer no cérebro (ANDERSEN et al., 2013).

3. Conclusão

¹⁰ considerando que um campo homogêneo de 0,86 V/m medido pela ANATEL produziria uma exposição menor que 6 microwatts por quilograma ($\mu\text{W}/\text{kg}$), conforme WHO (2010), e que o estudo usou uma exposição de 6 watts por quilograma, ou seja, mais de 1 milhão de vezes maior.

¹¹ Projeto realizado por 14 países entre 2010 e 2015 com 898 casos de 10 a 24 anos e 1912 controles.

Através desse trabalho ficou claro que medidas de distanciamento mínimo das ERBs para redução da exposição ao RNI e para obter uma distância segura são ineficazes, visto que a maior exposição se encontra no lóbulo principal e laterais que pode estar a dezenas ou centenas de metros das ERBs a depender da altura, inclinação e características das antenas instaladas nas ERBs.

Quanto a possibilidade da radiofrequência providas das ERBs causar câncer concluo e adoto a mesma posição da Sociedade Americana de Câncer - American Cancer Society (2020):

Os níveis de energia das ondas de radiofrequências (RF) são relativamente baixos, especialmente quando comparado com outros tipos de radiação que são conhecidas por aumentar o risco de câncer, como raios gama, raio x e luz ultravioleta. A energia de RF das ERBs são muito baixas para quebrar as ligações na molécula de DNA, mecanismo no qual outras fontes de radiação são conhecidas por causar o câncer.

Quanto a qualquer efeito adverso à saúde causado pela RNI concluo e adoto a mesma posição da Comissão Federal de Comunicações – Federal Communications Commission (2019):

Mesmo que as ondas de RF de alguma forma possam afetar as células em altas exposições, o nível das exposições de ondas RF presentes a nível de solo providos de uma ERB são muito baixos – bem menores que os limites recomendáveis, conforme foi verificado ao longo desse TCC.

Portanto, não há razão para acreditar que ERBs possam constituir um perigo potencial à saúde, principalmente em áreas residenciais no qual as antenas estão instaladas em alturas elevadas e onde, geralmente, as direções de maior irradiação estão desobstruídas.

4. Referências

AKIMOTO, Hajime. **Atmospheric reaction chemistry**. Tokyo: Springer Japan, 2016.

AMERICAN CANCER SOCIETY. **Cell Phone Towers**. 2020. Disponível em: < https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/cellular-phone-towers.html#written_by > Acesso em: 27 abril 2021.

ANATEL. Estação nº 1002397020. 2020. Disponível em: < <http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php> >. Acesso em: 27 de abril de 2021.

ANDERSEN, T. V. et al. Patterns of exposure to infectious diseases and social contacts in early life and risk of brain tumours in children and adolescents: an International Case–Control Study (CEFALO). **British Journal of Cancer**, v. 108, n. 11, p. 2346-2353, 2013. Disponível em: < <https://www.nature.com/articles/bjc2013201> >. Acesso em: 27 de abril de 2021.

BANERJEE, P. **Satellite communication**; PHI: New Delhi, Delhi, India, 2017, p. 78.

BRITANNICA. **Ionization energy**: chemistry. 2020. Disponível em: < <https://www.britannica.com/science/ionization-energy> >. Acesso em: 27 abril 2021.

CARR, J.J; HIPPISEY, G. W. **Practical Antenna Handbook**. Mc Graw Hill; New York, NY, USA, 2012. E-book, p. 16.

CHRISTENSEN, D. M; IDDINS, C. J; SUGARMAN, S. L. Ionizing Radiation Injuries and Illnesses. In: LUGASSY, D. M; SMITH, S, W.(org.). **Clinical Toxicology, an Issue of Emergency Medicine Clinics of North America**. Elsevier Health Sciences, USA, 2014. E-book, p. 252.

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION – FCC. **Human Exposure to Radio Frequency Fields: Guidelines for Cellular Antenna Sites**. 2019. Disponível em: < <https://www.fcc.gov/consumers/guides/human-exposure-radio-frequency-fields-guidelines-cellular-and-pcs-sites>>. Acesso em: 27 abril 2021.

FILHO, A. L. S. **Contribuições ao estudo da exposição humana a campos eletromagnéticos na faixa de radiofrequências**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION – FDA. **Do Cell Phones Pose a Health Hazard?** 2020. Disponível em: < <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/cell-phones/do-cell-phones-pose-health-hazard> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans**. 2011. Disponível em: < https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr208_E.pdf >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **IARC Report to the Union for International Cancer Control (UICC) on the Interphone Study**. 2011. Disponível em: < <https://interphone.iarc.fr/list-of-collaborators/uicc-report-final-03102011.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **Non-ionizing radiation, Part II: Radiofrequency electromagnetic fields:** IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2012. p. 211. Disponível em: < <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **Non-ionizing radiation, Part II: Radiofrequency electromagnetic fields:** IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2012. p. 407. Disponível em: < <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **Non-ionizing radiation, Part II: Radiofrequency electromagnetic fields:** IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2012. p. 35. Disponível em: < <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **Non-ionizing radiation, Part II: Radiofrequency electromagnetic fields:** IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2012. p. 419. Disponível em: < <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono102.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER – IARC. **Tobacco Smoke and Involuntary Smoking:** IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 2004. p. 208. Disponível em: < <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono83.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION – ICNIRP. 2018. **ICNIRP note on recent animal carcinogenesis studies.** Disponível em: < <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPnote2018.pdf> >. Acesso em: 27 abril 2021.

JUNIOR, E. A.; SANTOS, R. M. V.; VILLELA, E. F. M. Estudo caso-controle investigando o passado. *In:* VILLELA, E. F. M.; OLIVEIRA F. M. (org.). **Epidemiologia sem mistérios: tudo aquilo que você precisa saber!** Jundiaí: Paco Editorial, 2018. E-book, np.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH – NIH. 2011. **Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study.** Disponível em: < <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21795665/> >. Acesso em: 27 abril 2021.

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM – NTP. **Cell Phone Radio Frequency Radiation.** 2020. Disponível em: < <https://ntp.niehs.nih.gov/whatwestudy/topics/cellphones/index.html> >. Acesso em: 27 abril 2021.

NATIONAL TOXICOLOGY PROGRAM – NTP. **National Toxicology Program releases final reports on rat and mouse studies of radio frequency radiation like that used in 2G and 3G cell phone technologies.** 2018. Disponível em: < <https://www.niehs.nih.gov/news/newsroom/releases/2018/november1/index.cfm> >. Acesso em: 27 abril 2021.

SALLES, A.; FERNÁNDEZ, C. O impacto das radiações não ionizantes da telefonia móvel e o princípio da precaução. **Caderno Jurídico – Escola Superior do Ministério Público de São Paulo.** São Paulo, v. 6, n. 2, p. 17-46, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Electromagnetic fields and public health: mobile phones.** 2014. Disponível em: < <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones> >. Acesso em: 27 abril 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Systematic review on the health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields from mobile phone base stations.** 2010. Disponível em: < <https://www.who.int/bulletin/volumes/88/12/09-071852/en/> >. Acesso em: 27 abril 2021.

Apêndice

Na Tabela 2 os valores em vermelho foram alterados, e essas alterações feitas supõem uma antena ATR451709 em cada direção instalada a 40 metros de altura, o que resultará no aumento da exposição simulada, visto que existiam antenas instaladas em alturas diferentes.

Essa alteração proposital serviu, principalmente, para a facilitação da visualização dos gráficos de exposição da ERB - objetivo desse TCC - sem que resultasse numa diminuição da exposição, respeitando o princípio da precaução.

Valores de azimute foram alterados e colocados na mesma direção de outras RNI, isso também aumentará o valor da exposição e facilitará a visualização da exposição da RNI.

Foi colocado tilt elétrico razoável para a região, devido à ausência desses dados no site da ANATEL.

Freq. Inicial (MHz)	Freq. Final (MHz)	Azimute	Hmologação Ant.	Altura Antena (m)	Potência Transm. (W)	Tilt Elétrico
2670	2690	340	21521203257	40	46.1	2

2155	2165	340	21521203257	40	81.2	3
1850	1860	340	21521203257	40	59	2
880	890	340	21521203257	40	81.6	4
783	793	340	21521203257	40	40	4
Freq. Inicial (MHz)	Freq. Final (MHz)	Azimute	Hmologação Ant.	Altura Antena (m)	Potência Transm. (W)	Tilt Elétrico
2670	2690	170	21521203257	40	46.1	2
2155	2165	170	21521203257	40	81.2	3
1850	1860	170	21521203257	40	59	2
880	890	170	21521203257	40	81.6	4
783	793	170	21521203257	40	40	4
Freq. Inicial (MHz)	Freq. Final (MHz)	Azimute	Hmologação Ant.	Altura Antena (m)	Potência Transm. (W)	Tilt Elétrico
2670	2690	50	21521203257	40	46.1	2
2155	2165	50	21521203257	40	81.2	3
1850	1860	50	21521203257	40	59	2
880	890	50	21521203257	40	81.6	4
783	793	50	21521203257	40	40	4

Tabela 1: Característica das antenas da ERB localizada na servidão alvorada, nº 183, Campeche, Florianópolis/SC.

Fonte: ANATEL, 2021.

Na Figura 2, foi simulada a exposição no software EMF Estimator, e conforme as características da Tabela 1 foi realizado o preenchimento no software para a frequência de 880 MHz no azimute de 50°:

The screenshot shows the EMF Estimator software interface with the following key parameters filled in:

- System name:** 880MHz50
- Type of service coefficient:** LTE
- Nominal/mean transmitter power:** 81.6 W
- Feeder attenuation:** 4 dB/100m
- Feeder length:** 40 m
- Additional attenuation:** 0.1 dB
- Total attenuation:** 1.70 dB
- Gain referred to isotropic antenna:** 14.92 dBi
- Gain referred to $\lambda/2$ dipole:** 12.78 dBd
- ERP:** 1046.4 W
- HRP (ϕ):** -10.1728 dB
- EIRP:** 1716.1 W
- VRP (θ):** 0.0140 V/V
- EIRP (after type of service correction):** 1716.1 W
- F (θ, ϕ):** 0.0043 V/V
- Mechanical downtilt:** 0 deg
- Transmitting antenna height:** 40 m
- Distance from the start to the observation point:** 2 m
- Dist. from the antenna to the observation point:** 38.35 m
- Elevation angle from transmitting antenna to the observation point:** 177.0 deg
- Azimuth from the antenna to the observ. point:** -10.0 deg
- Frequency:** 880 MHz
- Maximum size of the antenna:** 1.472 m
- Limits file:** ICNIRP
- Electric field strength:** 25.79 mV/m
- Power density:** 0.002 mW/m²
- Accompanied magnetic field strength:** 0.068 mA/m
- Exposure limits:** Public (Electric field limit: 40.79 V/m, Power density limit: 4.41 W/m²), Occupational (Electric field limit: 88.99 V/m, Power density limit: 21.01 W/m²)
- ICNIRP Compliance distance:** 3.94 m (Public), 2.56 m (Occupational)
- Compliance distance(s) may be overestimated**
- Simultaneous exposure to multiple sources:** Mainly thermal effect: 100 kHz - 300 GHz. This source: 0.00% Public, 0.00% Occupational. All sources simultaneously: 0.00% Public, 0.00% Occupational.
- Mainly electrical stimulation effect: 1 Hz - 10 MHz.** This source: 0.00% Public, 0.00% Occupational. All sources simultaneously: 0.00% Public, 0.00% Occupational.
- Field Regions:** Reactive near-field: (0, λ) from 0 m to 0.34 m; Radiating near-field: (λ ; $\max(3\lambda, 2D^2/\lambda)$) from 0.34 m to 12.72 m; Far-field: ($\max(3\lambda, 2D^2/\lambda)$; ∞) from 12.72 m to ∞ m; EMF-estimator validity: ($D/2 + 2.5\lambda$; ∞) from 1.59 m to ∞ m.

Figura 2: Exemplo de preenchimento dos dados da Tabela 1 no software EMF Estimator para 880 MHz e 50°. Fonte: Elaboração própria (2021).

Anexo 1 – Medição de Radiação Não Ionizante

MEDIÇÕES RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE – RNI

Execução: Unidade Operacional da ANATEL no Estado de Santa Catarina

Local: Imediações da Estação de Rádio Base, da prestadora VIVO, instalada na Servidão Alvorada, nº 183, Bairro Campeche, Florianópolis/SC

Cidade	Região	Lat.	Long.	Valor Medido (V/m)		Altura da Sonda (m)	Data-Hora	
				Médio	Máximo		Início	Fim
Florianópolis	Servidão Alvorada, 183- Campeche	27°40'07.0"S	48°28'59.8"W	0,86	3,70	1,50	28/03/19 8h47	28/03/19 8h53
Florianópolis	Av. do Campeche, 2064 - Campeche	27°40'12.8"S	48°28'56.1"W	0,20	1,85	1,50	28/03/19 8h56	28/03/19 9h02
Florianópolis	Servidão Paulo Vieira, 116 – Campeche	27°40'02.5"S	48°28'56.7"W	0,15	1,42	1,50	28/03/19 9h05	28/03/19 9h12
Florianópolis	Servidão Cravo, 389 Campeche	27°39'59,6"S	48°29'04,9"W	0,23	1,60	1,50	28/03/19 9h14	28/03/19 9h20
Florianópolis	Servidão Brasília, 128 - Campeche	27°40'07,4"S	48°29'10,0"W	0,25	1,40	1,50	28/03/19 9h23	28/03/19 9h29

UF – Unidade da Federação

Cidade – Cidade onde foram realizadas as medições

Região – Campo informativo da região da cidade onde foram realizadas as medições – pode ser o bairro, centro da cidade, entorno da Av. Paulista e assim por diante.

Lat. – Latitude medida pela Sonda

Long. – Longitude medida pela Sonda

Valor Medido – Somente o campo elétrico, uma vez que o magnético será calculado a partir deste pelo sistema CONE. Informarem o valor médio (média de seis minutos – Res. 303) e o valor máximo obtido.

Altura da Sonda em relação ao solo. Recomenda-se entre 1,1 a 1,7 metros do solo.

Data-Hora – Datas de início e fim das medições.

Anexo 2 – Limites de exposição para campos de radiofrequência (público), com dados por país

País	Ano	Radiofrequência		Radiofrequência	
		Campo elétrico (V/m)		Densidade de Potência(W/m ²)	
		900 MHz	1800 MHz	900 MHz	1800 MHz
Argentina	2017	41.25	58.36	4.5	9
Australia	2017	41.1	58.1	4.5	9
Austria	2017	41.25	58.34	4.5	9
Bahrain	2017	41	58	4.5	9
Brazil	2017	41.25	58.34	4.5	9
Bulgaria	2017	6.14	6.14	0.1	0.1
Canada	2017	32.1	40.07	2.74	4.4
Chile	2017			0.1/1.0	0.1/1.0
Cyprus	2017	41	58	4.5	9
Finland	2017	41.4	58.55	4.5	9
France	2017	41	58	4.5	9
Germany	2017	41.25	58	4.5	9
Greece	2017	31.9/34.5	45.1/48.8	2.7/3.15	5.4/6.3
Iran (Islamic Republic of)	2017	41.25	58.34	4.5	9
Israel	2017	[13.0]	[18.0]	[0.45]	[0.9]
Italy	2017	20-Jun	20-Jun	0.1/1.0	0.1/1.0
Japan	2017	47.55	61.4	6	10
Malaysia	2017	41.25	58.34	4.5	9
Netherlands	2017	41.25	58.34	4.5	9
New Zealand	2017	41.25	58.34	4.5	9
Norway	2017	41.25	58.34	4.5	9
Peru	2017	41.25	58.34	4.5	9
Philippines	2017	41.25	58.34	4.5	9
Republic of Korea	2017	41.25	58.34	4.5	9
Russian Federation	2017			1	1
Saudi Arabia	2017	41.25	58.34	4.5	9
South Africa	2017	[41.0]	[58.0]	[4.5]	[9.0]
Sweden	2017	[41.25]	[58.33]	[4.5]	[9]
Switzerland	2017	4/41.25	6/58.34		
Tunisia	2017	41	58	4.5	9
Turkey	2017	3/10.23/41.0	3/14.5/58	0.27	0.55
United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland	2017	[41.25]	[58.34]	[4.5]	[9.0]
United States of America	2017	47.6	61.4	6	10
Zambia	2017	41	58	4.5	9

Fonte: <https://apps.who.int/gho/data/node.main.EMFLIMITSPUBLICRADIOFREQUENCY?lang=en>. Acesso em: 27 abril 2021.