



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATUREZA
BACHARELADO EM CIENCIA E TECNOLOGIA

DANILO DA SILVA MOURA

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE ABSORÇÃO ESPECIFICA EMITIDA POR ANTENAS
DE MICROFITA COM PATCH RETANGULAR NAS FREQUÊNCIAS DE
OPERAÇÃO DAS DIFERENTES GERAÇÕES DE CELULARES**

MOSSORÓ

2018

DANILO DA SILVA MOURA

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE ABSORÇÃO ESPECIFICA EMITIDA POR ANTENAS
DE MICROFITA COM PATCH RETANGULAR NAS FREQUÊNCIAS DE
OPERAÇÃO DAS DIFERENTES GERAÇÕES DE CELULARES**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Thomas Tadeu de Oliveira Pereira,
Prof. Msc.

Co-orientador: Idalmir Queiroz de Souza
Júnior, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

MM929 Moura, Danilo da Silva.
a Avaliação da Taxa de Absorção Específica Emitida por Antenas de Microfita com Patch Retangular nas Frequências de Operação das Diferentes Gerações de Celulares / Danilo da Silva Moura. - 2018.
43 f. : il.

Orientador: Thomas Tadeu de Oliveira Pereira.
Coorientador: Idalmir de Souza Queiroz Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2018.

1. Radiação Eletromagnética. 2. Microfita. 3. Taxa de Absorção Específica. 4. Antenas. 5. Aparelhos celulares. I. Tadeu de Oliveira Pereira, Thomas, orient. II. de Souza Queiroz Júnior, Idalmir, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DANILO DA SILVA MOURA

**AVALIAÇÃO DA TAXA DE ABSORÇÃO ESPECÍFICA EMITIDA POR ANTENAS
DE MICROFITA COM PATCH RETANGULAR NAS FREQUÊNCIAS DE
OPERAÇÃO DAS DIFERENTES GERAÇÕES DE CELULARES**

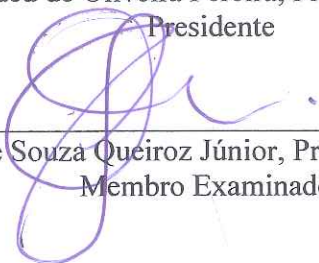
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 06 / 09 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

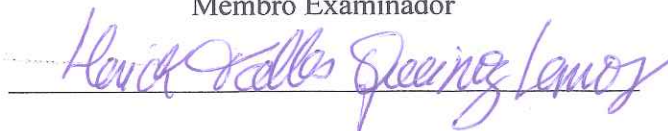


Thomas Tadeu de Oliveira Pereira, Prof. Msc. (UFERSA)
Presidente



Idalmir de Souza Queiroz Júnior, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Herick Talles Queiroz Lemos, Prof. (UFERSA)
Membro Examinador



AGRADECIMENTOS

Antes de mais nada agradeço ao Pai Celestial por ter me feito um ser ignorante, pois assim pude valorizar os amigos que obtive durante a minha jornada e a importância da humildade em todos os detalhes da vida. Também agradeço por ter sido feito e ser perseverante, assim consegui perpassar todos os obstáculos que enfrentei até o momento.

Aos meus pais por sempre acreditarem em mim e por me incentivarem a continuar buscando conhecimento ao longo da vida.

Aos docentes que apoiaram durante a minha jornada no bacharelado. Primeiro a professora Subênia Karine de Medeiros Neo por ter me apresentado o caminho da iniciação científica, pois sem ele este trabalho não teria sido desenvolvido. O professor Humberto Dionísio de Andrade por ter estendido a mão a um aluno que ainda engatinhava no curso e por ter tido a paciência de repassar os seus conhecimentos. O professor Isaac Barros Tavares da Silva por ter me mostrado como efetuar os primeiros passos para a realização do deste trabalho. Ao professor e meu orientador Thomas Tadeu de Oliveira Pereira que aceitou me orientar nesse tema e o professor Idalmir de Souza Queiroz Júnior que me auxiliou em momentos de dúvida.

Por fim, agradeço aos meus amigos e companheiros de curso que desde o primeiro semestre tem tido paciência para me suportar, afinal 3 anos e meio não passam rápido, ainda mais nesse curso.

RESUMO

A adesão a aparelhos que utilizam da radiofrequência para receber e transmitir informações cresce desde a década de 80 quando surgiu o primeiro telefone celular. Desde então novas tecnologias vem sendo criadas e aperfeiçoadas para serem inseridas aos aparelhos. O funcionamento desses dispositivos envolve a emissão de radiação eletromagnética, ao qual está inserida dentro da faixa não-ionizante. Contudo, exposição a esse tipo de radiação causa, dentro do corpo humano, a longo prazo, um aquecimento nos tecidos. Esse trabalho irá apresentar quatro antenas de microfita com *patch* retangular que ressoam nas mesmas faixas de frequência que os telefones celulares. Será simulado juntamente com um molde 3D, que representa a cabeça de um homem adulto, as antenas para ser avaliado a Taxa de Absorção Específica na cabeça, mais especificamente na região auricular por estar mais próximo ao aparelho no momento da recepção de chamadas.

Palavras-chave: Radiação Eletromagnética. Microfita. Taxa de Absorção Específica. Antenas. Aparelhos celulares.

ABSTRACT

The adherence to devices that use radiofrequency to receive and transmit information grows since the 80's when the first cell phone came up. Since then new technologies have been created and perfected to be inserted into the devices. The operation of these devices involves the emission of electromagnetic radiation, to which it is inserted within the non-ionizing range. However, exposure to this type of radiation causes, within the human body, tissue heating in the long run. This work will present four microstrip antennas with rectangular patch that resonate in the same frequency bands as the cellular telephones. It will be simulated along with a 3D mold, which represents the head of an adult man, the antennas to be assessed the Specific Absorption Rate on the head, more specifically in the auricular region by being closer to the apparatus at the time of receiving calls.

Keywords: Electromagnetic radiation. Microstrip. Specific Absorption Rate. Antennas. Cellular devices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Sistema simples de celular.....	16
Figura 2	Modelo Motorola Dynatac 8000x.....	18
Figura 3	Aparelho Nokia 2110.....	19
Figura 4	Desenvolvimento dos aparelhos de celulares ao longo dos anos 2000.....	20
Figura 5	Aparelho Asus Zenfone 5z.....	21
Figura 6	– Antena de microfita com <i>patch</i> retangular.....	23
Figura 7	– Coeficiente de reflexão para as antenas modeladas nas frequências de 0,835 GHz (a), 0,9025 GHz (b), 1,865 GHz (c), 2,535 GHz (d).....	27
Figura 8	– Coeficiente de reflexão para as antenas modeladas nas frequências de 0,835 GHz (a), 0,9025 GHz (b), 1,865 GHz (c), 2,535 GHz (d) após a aplicação do Fator de Compressão.....	29
Figura 9	– Representação da cabeça humana.....	30
Figura 10	Disposição das antenas em relação ao molde 3D.....	30
Figura 11	– Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 0,835 GHz.....	31
Figura 12	– Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 0,835 GHz.....	32
Figura 13	– Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 0,9025 GHz.....	33
Figura 14	– Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 0,9025 GHz.....	34
Figura 15	Distribuição de campo elétrico no <i>patch</i> das antenas de 0,835 GHz (a) e 0,9025 GHz (b).....	34
Figura 16	– Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 1,865 GHz.....	35
Figura 17	– Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 1,865 GHz.....	36
Figura 18	– Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 2,535 GHz.....	37
Figura 19	– Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 2,535 GHz.....	38
Figura 20	Distribuição de campo elétrico no <i>patch</i> das antenas de 1,865 GHz (a) e 2,535 GHz (b).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Frequência de operação de cada geração de aparelhos celulares.....	26
Tabela 2	–	Parâmetros calculados.....	27
Tabela 3	–	Parâmetros redefinidos pelo Fator de Compressão.....	28
Tabela 4	–	Resultados obtidos nas quatro simulações.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CEMRF	Campos Eletromagnéticos de Rádio Frequência
ESN	Electronic Serial Number
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System Mobile for Communication
GPRS	General Packet Radio Service
HFSS	<i>High Frequency Structure Simulator</i>
ICNIRP	Comissão Internacional para proteção contra Radiação não-ionizante
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
ITU	União Internacional de Telecomunicações
LTE	Long Term Evolution
MIN	Mobile Identification Number
PSTN	Public Switched Telephone Network
SAR	Specific Absorption Rate
TDMA	Time Division Multiple Access

LISTA DE SÍMBOLOS

® Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Aspectos históricos	15
2.2	Ondas Eletromagnéticas	15
2.3	Aparelho Celular	16
2.3.1	O Funcionamento do Celular	16
2.3.2	As Faixas de Frequência	18
2.3.2.1	AMPS (1ª Geração)	18
2.3.2.2	GSM (2ª Geração)	19
2.3.2.3	GPRS (3ª Geração)	19
2.3.2.4	LTE (4ª Geração)	20
2.4	Taxa de Absorção Específica	21
2.5	Legislação	22
2.6	Antenas de Microfita	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1	Antena	26
3.2	Molde	29
3.3	Simulação	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A utilização de aparelhos que utilizam a radiofrequência para funcionarem tem crescido desde o seu surgimento, que foi na década de 80. Desde então, o sistema de comunicação móvel se expandiu e hoje abrange até mesmo os lugares mais remotos.

Desde essa época o aparelho evoluiu de acordo com a sua demanda. Hoje em dia, os aparelhos celulares não fazem apenas chamadas como os de antigamente, a grande faixa de funções que o dispositivo oferece hoje é que o torna atrativo fazendo com que até mesmo os mais resistentes a essa tecnologia se tornem adeptos.

Por fazerem uso de uma faixa de frequência que é considerada não-ionizante, isto é, que não tem energia suficiente para romper as ligações químicas no organismo, os aparelhos celulares são considerados inofensivos a saúde humana, mas ainda assim eles emitem ondas que interagem com o corpo humano.

A radiação eletromagnética emitida não é agressiva ao corpo humano como as ondas ionizantes, contudo a exposição excessiva a essa radiação causa aquecimento nos tecidos afetados.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a emissão dessa radiação em antenas de microfita de *patch* retangular que funcionem na mesma faixa de frequência dos aparelhos celulares. Dessa forma, será feito um comparativo entre as antenas e examinado a quantidade de radiação absorvida pelo ser humano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos Histórico

A utilização de ondas eletromagnéticas para a comunicação começou em 1892 quando o padre brasileiro Roberto Landell de Moura construiu o primeiro transmissor de mensagens sem fio (ALENCAR; LOPES; ALENCAR, 2012), sendo assim o pioneiro na área. Entretanto, por não estar inserido em meio científico ou acadêmico, a realização do padre não é tida como pioneira.

Em 1895 o físico italiano Guglielmo Marconi apresentou perto de Bolonha, na Itália, sua experiência com ondas hertzianas e em 1896 patenteou sua invenção: o telegrafo sem fio (ALENCAR; LOPES; ALENCAR, 2012; ALMEIDA, 2012).

Mesmo após o telegrafo sem fio tendo sido patenteado por outra pessoa, o padre Landell conseguiu patentear algumas de suas invenções no início do século XX. Foram patenteadas três invenções: o emissor de ondas (hertzianas), o telefone sem fio e o telegrafo sem fio (ALENCAR; LOPES; ALENCAR, 2012).

Em 1914, quando começou a Primeira Guerra Mundial, o rádio se tornou o principal meio de comunicação devido a facilidade de transmitir e receber informações. Durante o período de confronto, o desenvolvimento de tecnologias que utilizassem ondas eletromagnéticas cresceu causando um avanço tecnológico na época.

A população, no geral, só utilizou de aparelhos receptores de ondas eletromagnéticas entre as décadas de 1960 e 1970, quando as indústrias Bell criaram o conceito de celular (RAPPAPORT, 2009). A princípio a utilização desses aparelhos se restringiu a aqueles que tinham poder econômico maior em relação aos demais. Contudo, com o avanço tecnológico o aparelho de celular foi sendo difundido e aceito pela sociedade com o passar dos anos.

2.2. Ondas Eletromagnéticas

A realização de comunicação sem fio é devido a existência das ondas eletromagnéticas, as quais correspondem a energia transportada através do espaço, cuja intensidade da onda varia de acordo com a sua frequência (ANATEL, 2015).

As ondas eletromagnéticas consideradas não ionizantes, são aquelas cuja energia transmitida por elas não é forte o bastante para quebrar as ligações moleculares das células, contudo, quando as ondas eletromagnéticas incidem sobre o corpo humano e são absorvidas, parte dessa energia é transformada em energia térmica, causando aquecimento no local onde incidiu (BULLA, 2006).

Além do efeito térmico, segundo Cruz (2005), estudos evidenciam que a exposição a micro-ondas pode estar relacionada a distúrbios nervosos, como por exemplo dores de cabeça, fadiga, e perdas de memória. Os cientistas não podem afirmar que os sintomas apresentados estão estritamente relacionados com a exposição as ondas eletromagnéticas, mas estimam que a radiação emitida pela estação-base seja a responsável por esses fatores (CRUZ, 2005).

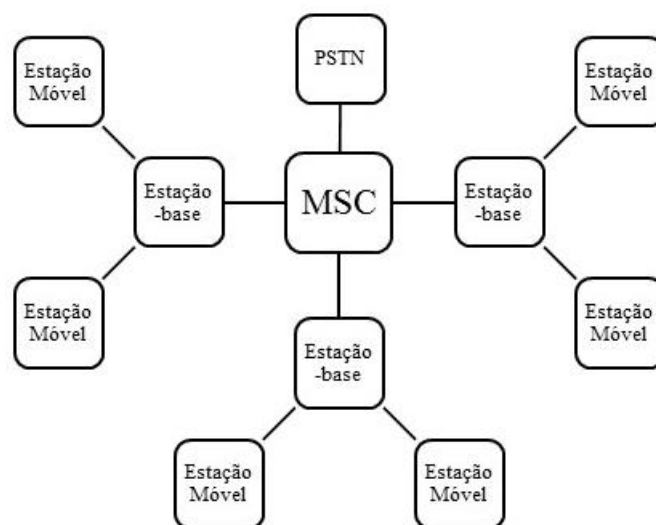
2.3. Aparelho Celular

2.3.1. O Funcionamento do Celular

Para que seja estabelecida a comunicação através de aparelhos celulares é necessário que a área esteja sendo coberta por uma estação-base, que é uma torre com um sistema de rádio móvel usada para comunicação por rádio com estações moveis, e um controle de comutação móvel (Mobile Switching Center - MSC), que é o responsável por comutar e coordenar o roteamento de chamadas em uma área de serviço (RAPPAPORT, 2009). O MSC conecta as estações-base de celular e os dispositivos moveis à Rede Telefônica Publica Comutada (Public Switched Telephone Network - PSTN) (RAPPAPORT, 2009).

Por fim a estação móvel que é usada para receber e transmitir os sinais de rádio simultaneamente, realiza essas operações através de um transceptor ao qual permite a movimentação do usuário em locais não especificados (RAPPAPORT, 2009). Para que a estação móvel possa operar adequadamente, deve ser equipada com um transceptor, uma antena e circuitos para fazer a coordenação das funções (RAPPAPORT, 2009). A Figura 1 mostra a relação entre o PSTN, MSC e as estações (base e móvel).

Figura 1 - Sistema simples de celular.



Fonte: Autoria Própria.

A estação móvel antes de estabelecer um canal de comunicação com a estação-base, monitora os sinais provenientes da estação-base e procura aquele com maior intensidade, enquanto esse sinal se mantém forte o aparelho celular continua o monitorando até que ele perca força (RAPPAPORT, 2009).

Quando um usuário deseja fazer uma ligação para uma estação móvel o MSC envia uma solicitação a todas as estações-base no sistema celular. A estação móvel recebe como forma de *paging* o Número de Identificação da Estação Móvel (Mobile Identification Number - MIN) e envia a confirmação pelo canal de controle reverso, que é o canal usado para a transmissão de informações da estação móvel para a estação-base (RAPPAPORT, 2009).

Após receber a confirmação da estação móvel, a estação-base envia para o MSC a confirmação de recebimento. Por sua vez o MSC instrui a estação-base para alocar a chamada em um canal de voz vazio. Feito isso, a estação-base emite um sinal para a estação móvel com a fim de modificar a frequência e assim estabelecer uma conexão com um par de canais direto e reverso que não esteja sendo utilizado (RAPPAPORT, 2009).

Quando a estação móvel solicita uma chamada, é enviado para a estação-base o seu MIN, o Número de Série Eletrônico (Electronic Serial Number - ESN), o número de telefone de parte da chamada, e uma Marca da Classe da Estação (Station Class Mark - SCM), ao qual indica o nível de potência máximo do transmissor para o usuário específico (RAPPAPORT, 2009). A estação-base recebe esses sinais e os encaminha para o MSC, que os valida e faz a conexão com a parte chamada por meio da PSTN, que por sua vez instrui a estação-base e a estação móvel a se dirigirem para um par de canais direto e reverso livre.

2.3.2. As Faixas de Frequência

A crescente adesão da população aos celulares fez com que fosse desenvolvido novas faixas de frequência a fim de atender as novas demandas. Atualmente existe 5,135 bilhões de usuários de celular (HOOTSUIT, 2018).

A seguir será descrito as tecnologias associadas as antenas dos celulares e suas faixas de operação.

2.3.2.1. AMPS (1ª Geração)

O sistema analógico Advanced Mobile Phone System (AMPS) foi criado pelas indústrias Bell em 1979 (TELECO, 2018). Implantado primeiramente nos Estados Unidos com uma frequência de operação de 825 a 845 MHz para a estação móvel, o AMPS consolidou alguns conceitos como o de *handoff* que é a possibilidade de uma estação móvel receber chamadas mesmo estando fora da área de cobertura de sua estação-base (RAPPAPORT, 2009).

Diferentemente de outros sistemas, o AMPS permite o usuário, através do acesso múltiplo por divisão de frequência (Frequency Division Multiple Access - FDMA) (RAPPAPORT, 2009), diferenciar os canais de transmissão e recepção de sinal proveniente da estação-base (TELECO, 2018). Dessa forma têm-se um sistema duplex, isto é, através dele é possível transmitir e receber sinais de voz em uma ligação.

Um defeito desse tipo de sistema foi a não padronização do sinal (TELECO, 2018). Devido a esse fato, caso o usuário saísse de seu país, o aparelho não receberia ligações, pois a frequência utilizada seria outra e a estação móvel não teria como fazer contato com a estação-base.

A Figura 2 ilustra um modelo utilizado na época.

Figura 2 – Modelo Motorola Dynatac 8000x.



Fonte: MICROLINS (2017).

2.3.2.2. GSM (2ª Geração)

A segunda geração veio com o intuito de cobrir a lacuna deixada pela primeira. Além de permitir o *roaming* de dados entre os países, os padrões da segunda utilizam o acesso múltiplo por divisão de tempo (Time Division Multiple Access - TDMA) ao qual aloca no espectro de rádio slots de tempo e em cada slot apenas um usuário tem permissão para receber ou transmitir informações (RAPPAPORT, 2009).

O Global System Mobile for Communication (GSM) foi criado em 1982 na Europa (LOGICENGENHARIA, 2018). A frequência de operação estabelecida para a estação móvel foi de 890 a 915 MHz (TELECO, 2018), bem próximo ao da primeira geração.

A segunda geração representa o primeiro conjunto a contar com modulação digital e um sofisticado processamento digital de sinal na estação móvel e na estação-base, além disso essa geração melhorou a qualidade de voz (RAPPAPORT, 2009; TELECO, 2018).

A crescente demanda, na época, por aparelhos de comunicação sem fio justifica a gradual mudança do analógico para o digital, isto é, os aparelhos de comunicação sem fio já eram fabricados para receber a tecnologia da segunda geração (RAPPAPORT, 2009).

Os aparelhos apresentavam tamanhos menores do que os da primeira geração, conforme a Figura 3, o que facilitava a conveniência no transporte dos aparelhos.

Figura 3 – Aparelho Nokia 2110.



Fonte: HAMARI WEB (2018).

2.3.2.3. GPRS (3ª Geração)

A terceira geração, (General Packet Radio Service - GPRS), possibilita a utilização de internet sem a necessidade de se estabelecer uma ligação telefônica (SILVA et al., 2004). Como não existe a necessidade de um circuito telefônico para estabelecer a conexão com a internet, a

forma de tarifação é feita para que seja levado em consideração a utilização do serviço e não o tempo em que o usuário permaneceu usufruindo (TUDE, 2003).

A diferença entre a terceira e a segunda geração está na forma em que os canais de comunicação são organizados. Ao contrário do GSM a alocação de slots de tempo não são reservados e a alocação é feita de acordo com a demanda (SILVA et al., 2004).

As novidades trazidas por essa geração tornaram a demanda da população por dispositivos moveis de comunicação ainda maior. O fato de ter acesso a todo tipo de informação através de um aparelho portátil é atrativo para todas as idades. Devido a essa demanda, o GPRS trabalha com várias subfaixas de frequência para atender a todos os usuários. Essas subfaixas variam de 1755 a 1975 MHz (TELECO, 2016).

Nessa geração houve um aumento no desenvolvimento de modelos, a Figura 4 mostra o desenvolvimento desses aparelhos ao longo dos anos.

Figura 4 – Desenvolvimento dos aparelhos de celulares ao longo dos anos 2000.



Fonte: Adaptado de Silva (2014b).

2.3.2.4. LTE (4ª Geração)

O Long Term Evolution (LTE) foi desenvolvido para priorizar o tráfego de dados e assim permitir conexões mais rápidas (TELECO, 2018). Esse avanço na transmissão de dados também

facilita a forma de tarifação de serviços, além da utilização de vários serviços sendo utilizados de forma integrada (SGANZERLA; RÜCKER, 2010).

Logo no início da popularização do celular a principal ferramenta era receber e realizar chamadas, mas após a primeira década do século XXI, estar informado a respeito do que acontece no mundo se tornou uma necessidade. A Figura 5 mostra um aparelho de celular capaz de utilizar a tecnologia 4G.

Figura 5 – Aparelho Asus Zenfone 5z.



Fonte: Loja Asus (2018).

A faixa de frequência utilizada por essa geração é de 2500 a 2570 MHz (TELECO, 2016). Essa frequência de operação é próxima a frequência utilizada por outros aparelhos de comunicação sem fio, como por exemplo notebooks e tablets, só que para o acesso à internet. A faixa de frequência foi determinada nesse valor para poder permitir a comunicação de entre todos os aparelhos que fazem uso dessa frequência.

2.4. Taxa de Absorção Específica

O corpo humano apresenta um limite de exposição a Campos Eletromagnéticos de Rádio Frequência (CEMRF). Essa absorção é medida através da Taxa de Absorção Especifica (Specific Absorption Rate - SAR). Segundo a ANATEL (2002), o SAR é a quantidade de energia absorvida por unidade de massa de tecido biológico em Joule por quilograma (W/kg).

Essa taxa pode ser expressa matematicamente (Equação 1) de acordo com o teorema do vetor de Poynting para campos eletromagnéticos com excitação senoidal no domínio da frequência (BULLA, 2006).

$$SAR = \frac{\sigma|E|}{2\rho} \quad (1)$$

Onde E é o campo elétrico, σ é a condutividade do material, e ρ é a resistividade.

2.5. Legislação

A utilização de aparelhos de comunicação sem fio cresce desde a sua criação. O princípio de funcionamento desses aparelhos envolve a utilização de ondas eletromagnéticas. Devido a esse fato foi estabelecido um limite máximo de exposição a esse tipo de radiação. Dentre os principais órgãos que realizam essa vistoria destacam-se a Comissão Internacional para proteção contra Radiação não-ionizante (ICNIRP), o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e a União Internacional de Telecomunicações (ITU) (SANTANA, 2018).

No Brasil, através da Lei Geral das Telecomunicações nº 9.742 de 16 de junho de 1997 o órgão responsável por regulamentar a exposição a CEMRF em níveis aceitáveis é a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (BRASIL, 1997). A legislação brasileira foi criada seguindo as diretrizes da ICNIRP, e em julho de 2002 a ANATEL através da Resolução número 303 estabeleceu os limites a exposição a campos elétricos e magnéticos na faixa de radiofrequência 9 kHz a 300 GHz (ANATEL, 2002; SANTANA, 2018).

2.6. Antenas de Microfita

As antenas de microfita são um tipo de antena que ganhou atenção por volta da década de 70. Elas são basicamente formadas por uma plaqueta (*patch*) metálica, que serve como condutor radiante, de fina espessura, e posta sobre um material dielétrico, chamado de substrato, tudo isso é posto acima de um plano de terra (BALANIS, 2009; SILVA, 2014a).

As plaquetas podem ter formatos diversos, contudo as formas mais simples para análise e fabricação são as plaquetas do tipo quadrada, retangular, dipolos (fitas) e circulares, esses formatos também apresentam excelente radiação (BALANIS, 2009).

Existe diversos métodos para se alimentar uma antena de microfita, entretanto os mais comuns são o método da linha de microfita, cabo coaxial, acoplamento por abertura e acoplamento por proximidade (SILVA, 2014a). A linha de microfita é uma linha de alimentação

que consiste em uma fita condutora, apresenta um casamento de impedância simples, o que facilita a sua construção (BALANIS, 2009).

Assim como a linha de microfita, o método por cabo coaxial também é simples de ser empregado, o que o torna bastante comum. Esse método consiste na conexão do condutor interno diretamente no *patch* da antena, enquanto que o condutor externo é conectado ao plano de terra (SILVA, 2014a).

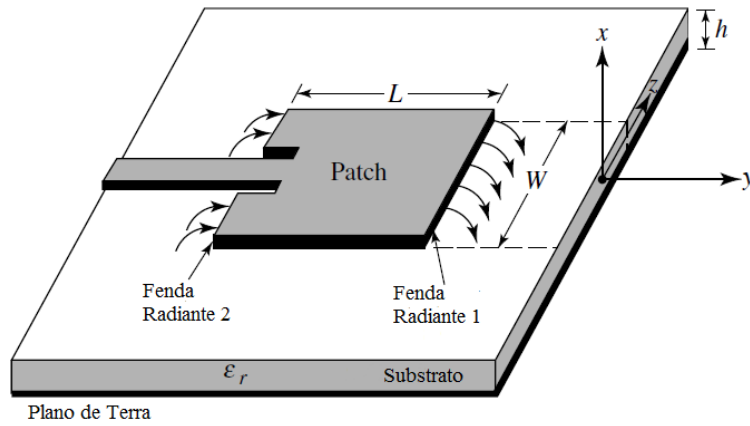
O acoplamento por abertura consiste na transferência de energia ao *patch* através de uma abertura no plano de terra. Para isso é posto uma linha de microfita junto com o plano de terra ao redor de dois substratos, um sobre a linha e outro abaixo do plano de terra, onde o *patch* da antena estará sobre o substrato próximo ao plano de terra (BALANIS, 2009; SILVA, 2014a). Esse tipo de alimentação apresenta maior dificuldade em sua fabricação em relação aos dois outros métodos.

Por último o acoplamento por proximidade, que é o mais complicado de se fabricar. Em termos construtivos, esse método é semelhante ao método de acoplamento por abertura, é diferido apenas no controle da linha de microfita de tal forma que seja harmonizado com as dimensões do *patch* para obter um ganho adequado, além de que deve ser visto o tamanho ideal para o melhor casamento de impedância (BALANIS, 2009; SILVA, 2014a).

Em relação aos métodos de análise, existe vários, porém os mais populares são os de linha de transmissão, cavidade, e onda completa. Dentre os três modelos citados o que apresenta boa percepção física é o da linha de transmissão, contudo a modelagem para o acoplamento da impedância de entrada é mais difícil (BALANIS, 2009).

O método da linha de transmissão caracteriza uma antena de microfita de *patch* retangular através de duas fendas radiantes de largura w , distanciadas entre si por um comprimento L , e linha de transmissão de baixa impedância Z_c (HOLANDA, 2016). A Figura 6 ilustra esse tipo de antena.

Figura 6 – Antena de microfita com *patch* retangular.



Fonte: Adaptado de Balanis (2009).

Devido a finitude de suas dimensões, as antenas de *patch* retangular apresentam efeitos de franjamento em suas bordas. A existência desse efeito se dá devido a espessura do substrato e das dimensões da plaqueta, que ocasionam um aumento elétrico nas dimensões da plaqueta (BALANIS, 2009).

A linha de microfita por ser uma estrutura não-homogênea, isto é, com dois meios dielétricos distintos (geralmente o substrato e o ar), as ondas acabam se dividindo e viajando por entre esses meios, por isso se deve inserir uma constante dielétrica efetiva ϵ_r que leve em consideração o efeito de franjamento e a velocidade de propagação na linha de microfita.

A constante dielétrica efetiva depende do valor de largura do patch. A largura é definida de acordo com a Equação 2.

$$w = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2)$$

A Equação 3 define essa nova permissividade.

$$\epsilon_{\text{ref}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

A partir dela é definida a largura e o comprimento efetivo, isto é, desconsiderando o efeito de franjamento. A Equação 4 define a variação no aumento do *patch* que o efeito de franjamento causa e que deve ser desconsiderado.

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{\text{ref}} + 0,3)(\frac{w}{h} + 0,264)}{(\epsilon_{\text{ref}} - 0,258)(\frac{w}{h} + 0,8)} \quad (4)$$

Já as Equações 5 e 6 mostram o comprimento e a largura efetiva do *patch*.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{ref}}}} - 2\Delta L \quad (5)$$

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} - 2\Delta L \quad (6)$$

O casamento da impedância de entrada é feito a partir da linha de microfita. A sua largura é definida pela Equação (7) (BALANIS, 2009).

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{ref}}}} \ln \left[\frac{8h}{wo} + \frac{wo}{4h} \right], & \frac{wo}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{ref}}} \left[\frac{wo}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{wo}{h} + 1,444 \right) \right]}, & \frac{wo}{h} > 1 \end{cases} \quad (7)$$

Onde wo é a largura e Z_c é a impedância de 50Ω . Já o comprimento é da linha não deve ultrapassar $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda da maior frequência de ressonância da antena (POZAR, 2012). O comprimento pode ser expresso de acordo com a Equação 8.

$$Lm = \frac{c}{4f_r \sqrt{\epsilon_{\text{ref}}}} \quad (8)$$

Outra técnica utilizada para diminuir o efeito de franjamento e assim obter um maior ganho da antena é a adição de *inset feed* que consiste na inserção de fendas de tamanho yo e a largura pode variar entre a metade do tamanho da linha de microfita até o seu tamanho (ARAÚJO et al., 2011; HOLANDA, 2016). A Equação 9 mostra a como obter a tamanho do *inset feed*.

$$y_o = 10^{-4}(0,001699\varepsilon_r^7 + 0,13761\varepsilon_r^6 - 6,1783\varepsilon_r^5 + 93,187\varepsilon_r^4 - 682,69\varepsilon_r^3 + 2561,9\varepsilon_r^2 - 4043\varepsilon_r + 6697)\frac{L}{2} \quad (9)$$

3. MATERIAIS E METODOS

A análise da Taxa de Absorção Específica foi feita com o auxílio de 4 antenas de microfita de *patch* retangular. A modelagem das antenas partiu da escolha das frequências de ressonância. Para cada geração de celulares, foi feita uma antena diferente, pois a faixa de frequência entre as gerações são distintas.

3.1. Antena

A construção das antenas inicia-se com a determinação de parâmetros iniciais, sendo eles a altura do substrato e a sua permissividade, e a frequência de trabalho. Dependendo desses parâmetros, as dimensões do *patch* podem variar.

Para manter as dimensões pequenas, foi escolhida uma permissividade relativa ε_r de 10.2 para o substrato e uma altura h de 1 milímetro. Já as frequências de operação são 4, sendo cada uma delas referente a uma geração distinta, e foram escolhidas a fim de que estejam no meio da faixa de operação, visando obter uma largura de banda que abrangesse todos os valores das faixas de frequência dos aparelhos. As frequências escolhidas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 - Frequência de operação de cada geração de aparelhos celulares.

	Faixa de Operação dos Celulares (GHz)	Frequência escolhida (GHz)
1ª Geração	0,825-0,845	0,835
2ª Geração	0,890-0,915	0,9025
3ª Geração	1,755-1,975	1,865
4ª Geração	2,5-2,57	2,535

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Os demais parâmetros das antenas foram obtidos de acordo com as Equações 2 a 9. As dimensões encontradas podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros calculados.

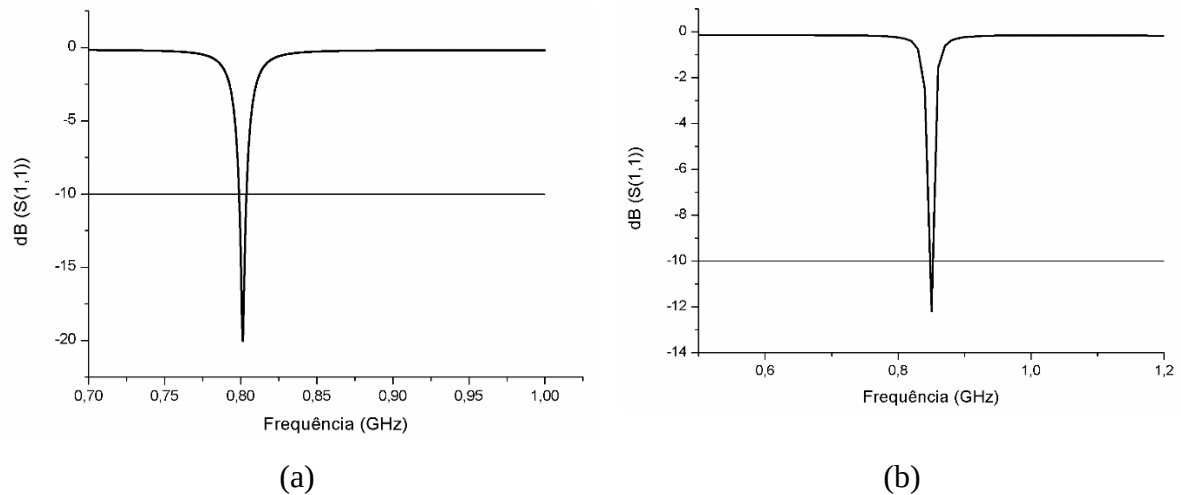
	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração	4ª Geração
W (mm)	75	69,37	33,12	24,15
L (mm)	56,3	52	25,16	18,46
Lm (mm)	28,58	26,47	13	9,66
wo (mm)	0,61	0,61	0,61	0,61
yo (mm)	22,16	20,5	9,9	7,27

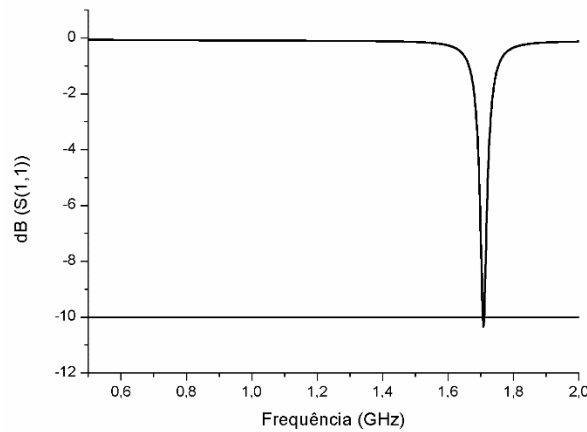
Fonte: Autoria Própria, 2018.

Através das medidas obtidas, as antenas foram modeladas e simuladas no *software* HFSS® (*High Frequency Structure Simulator*), versão 19.0. Nesse programa é obtido o coeficiente de reflexão, Carta de Smith, diagrama de radiação e ganho para cada antena.

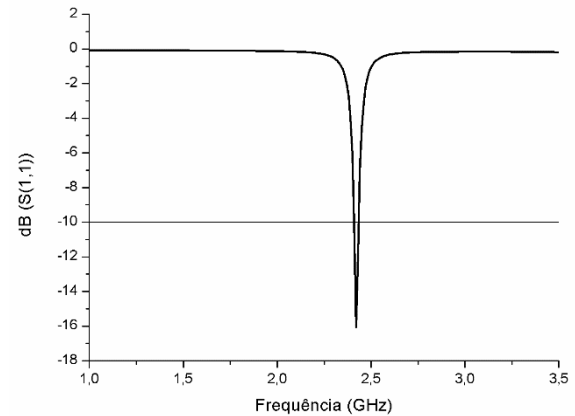
A Figura 7 mostra o coeficiente de reflexão para cada antena.

Figura 7 – Coeficiente de reflexão para as antenas modeladas nas frequências de 0,835 GHz (a), 0,9025 GHz (b), 1,865 GHz (c), 2,535 GHz (d).





(c)



(d)

De acordo com a Figura 7, as antenas não ressoaram na frequência desejada devido a permissividade do substrato ser elevada. Para melhorar esse desempenho é utilizado o Fator de Compressão ou de Expansão que são obtidos pela Equação 10. Esse fator está relacionado com a capacidade de miniaturização da antena (OLIVEIRA, 2008).

$$\text{Fator de compressão ou Expansão} = (F_r(\text{GHz})) / (f(\text{GHz})) \quad (10)$$

Fator de Compressão ou de Expansão muda de acordo com o resultado, isto é, caso o ponto de maior ressonância seja maior do que o ponto desejado, o fator utilizado é o de Compressão, pois a antena sofrerá uma redução nas dimensões de seu *patch*. Já o Fator de Expansão é visto quando o ponto de ressonância é menor do que o ponto desejado.

A Tabela 3 mostra as antigas dimensões das antenas e os novos valores após ser utilizado o fator de compressão.

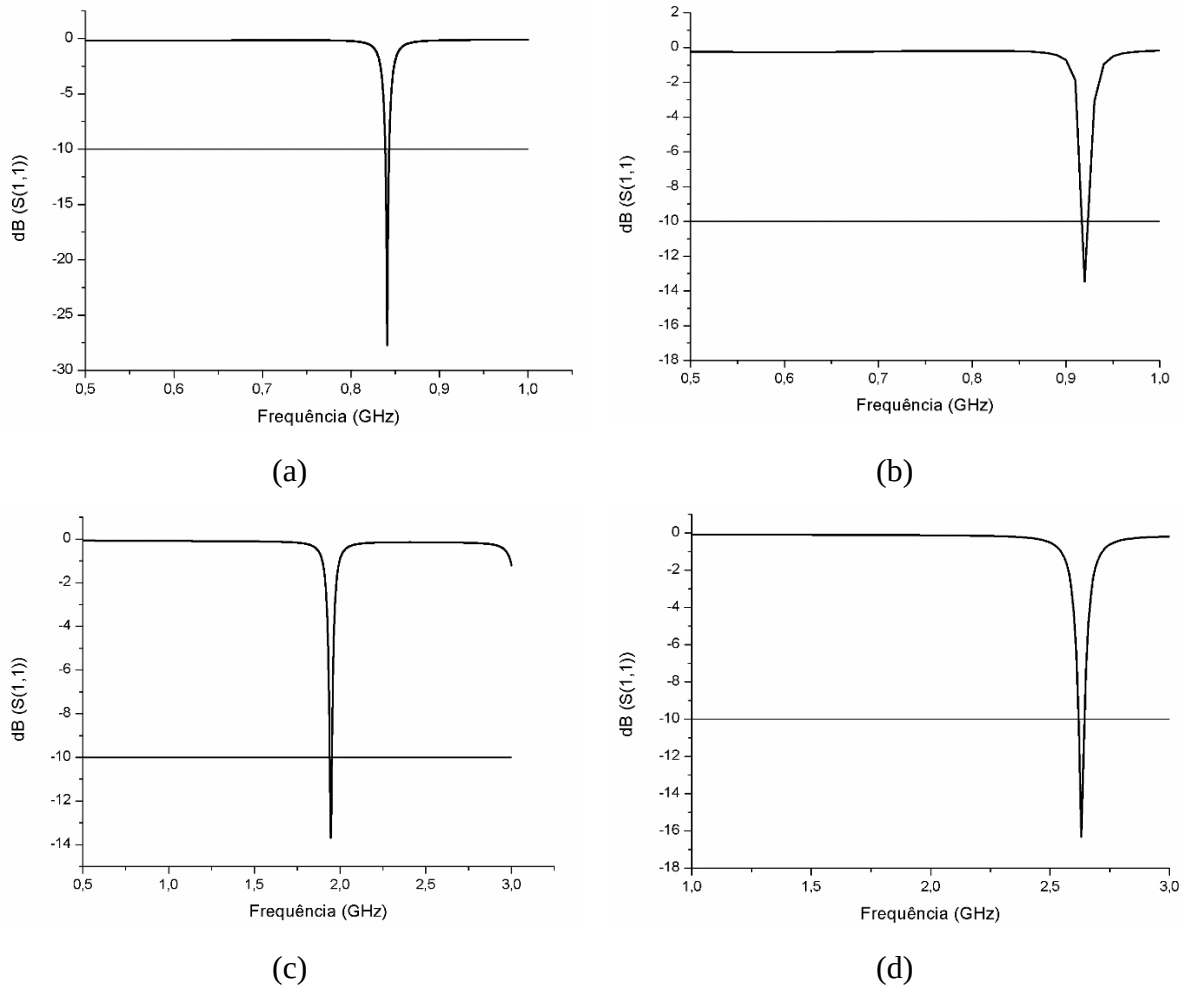
Tabela 3 - Parâmetros redefinidos pelo Fator de Compressão.

	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração	4ª Geração
W (mm)	71,99	65,32	30,31	22,47
L (mm)	53,75	48,97	23,08	17,22
Lm (mm)	28,58	26,47	13	9,66
wo (mm)	0,61	0,61	0,61	0,61
yo (mm)	22,16	20,5	9,9	7,27

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O fator de compressão é utilizado no patch com o intuito de diminuir as dimensões físicas e consequentemente deslocar a frequência de ressonância, como pode ser visto na Figura 8 os novos coeficientes de reflexão.

Figura 8 – Coeficiente de reflexão para as antenas modeladas nas frequências de 0,835 GHz (a), 0,9025 GHz (b), 1,865 GHz (c), 2,535 GHz (d) após a aplicação do Fator de Compressão.



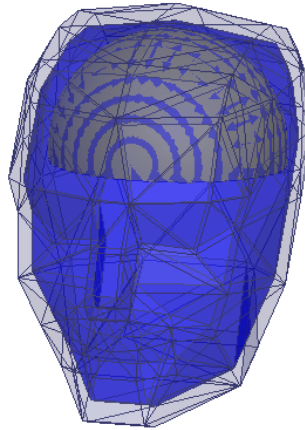
3.2. Molde (*phantom*)

Para representar a cabeça humana, foi utilizado um molde (*phantom*) disponível no *software 3ds Max* da Autodesk. A partir desse molde, foi construído os sólidos para representar a pele, o crânio e o cérebro, formando 3 camadas distintas.

A penetração da radiação eletromagnética na região auricular, adotou-se para cada uma das camadas uma permissividade elétrica diferente. Segundo Panzo et al. (2018) os valores para

pele, osso e cérebro, onde são, respectivamente, de $\epsilon_r = 34,5$, $\epsilon_r = 8$ e $\epsilon_r = 55$. A Figura 9 mostra o *phantom* com as três estruturas agrupadas.

Figura 9 - Representação da cabeça humana.



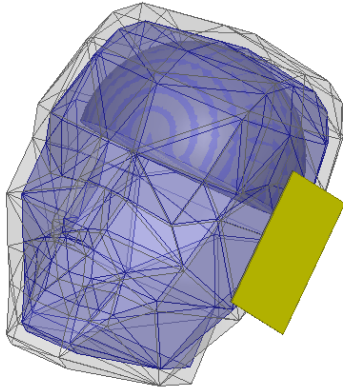
Fonte: Adaptado *3ds Max*.

Adicionou-se ao molde uma linha para representar o canal auditivo, pois essa área é uma das mais afetadas devido à proximidade do aparelho com a pele. Além desse canal estar ligado com o aparelho auditivo. O valor médio de SAR na região auricular é obtido através da linha que liga as extremidades do molde.

3.3. Simulação

Para avaliar o SAR nas quatro frequências serão feitas quatro simulações, sendo cada uma respectiva a uma geração de celulares. As simulações são realizadas colocando cada antena a 2 milímetros do *phantom*. O centro de cada *patch* foi alinhado com a região auricular do molde conforme a Figura 10.

Figura 10 – Disposição das antenas em relação ao molde 3D.



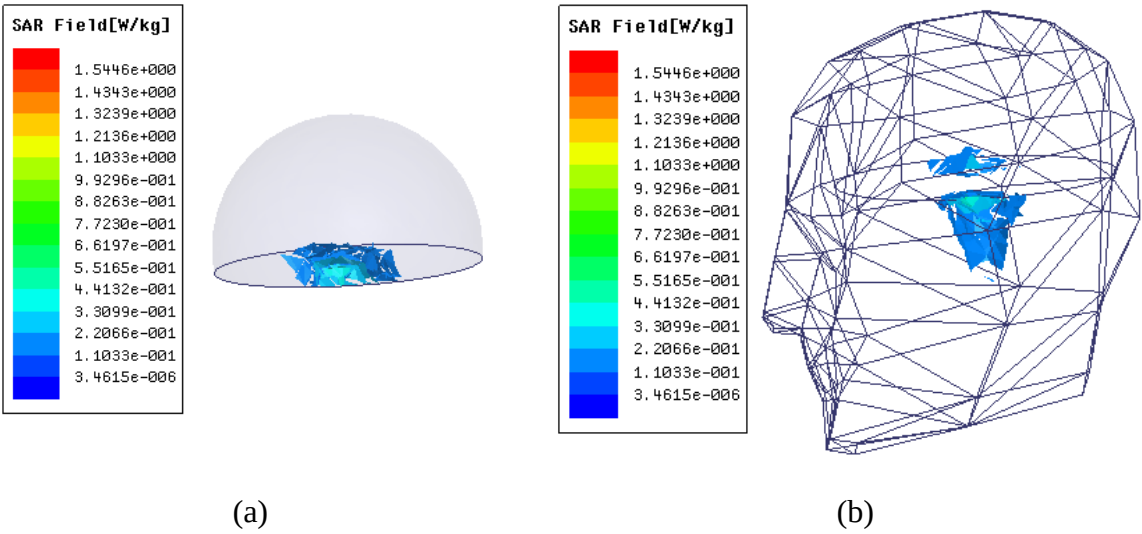
Fonte: Autoria Própria (2018).

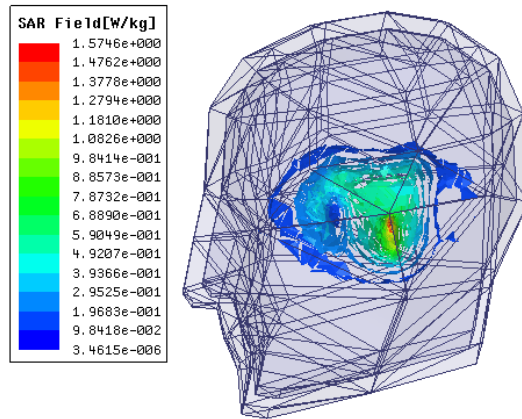
A alimentação da antena se manteve constante em 1 W, pois em aparelhos celulares essa alimentação varia de acordo com a distância entre a estação-base e a estação móvel para que a antena sempre apresente ganhos satisfatórios.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da simulação é visto a distribuição do SAR em cada uma das estruturas. A primeira foi realizada com a antena da primeira geração. A Figura 11 mostra o SAR em cada uma das camadas para a frequência de 0,835 GHz.

Figura 11 – Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 0,835 GHz.



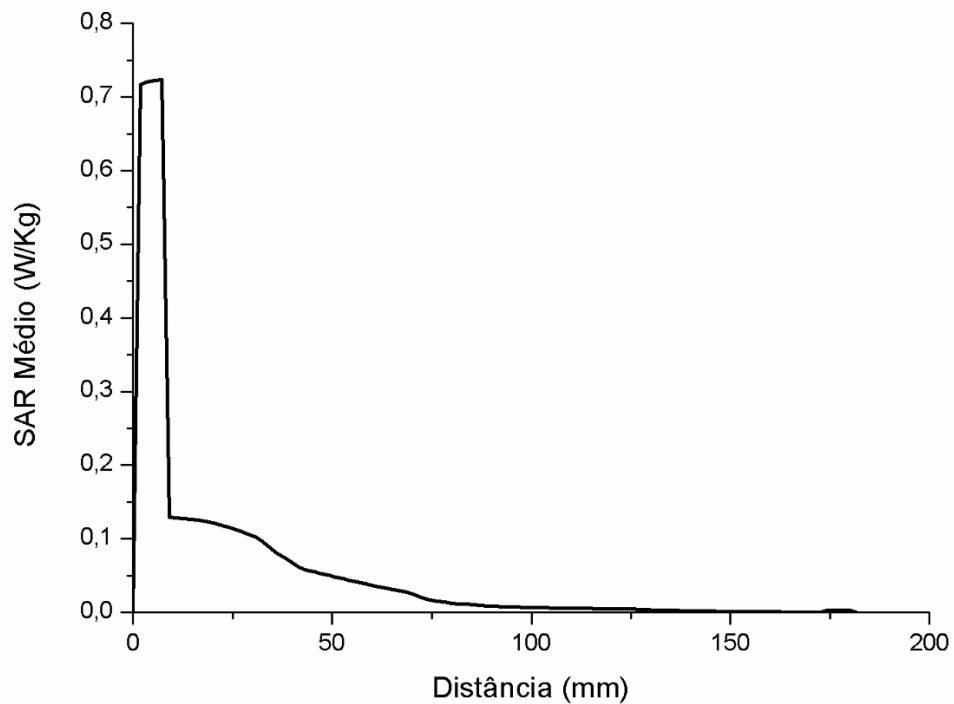


(c)

Fonte: Autoria Própria (2018).

Na Figura 1c é observado uma maior área afetada pela radiação eletromagnética, já nas outras camadas (Figura 1a, 1b) a área de absorção diminui. Isso ocorre devido a pele ter uma permissividade elevada em comparação a segunda camada. Já para da segunda para a terceira camada a área afetada aumenta, contudo, o valor do SAR diminui, pois, a radiação tem sido atenuada nas outras camadas. A Figura 12 mostra a absorção média dos campos no molde para a frequência de 0,835 GHz.

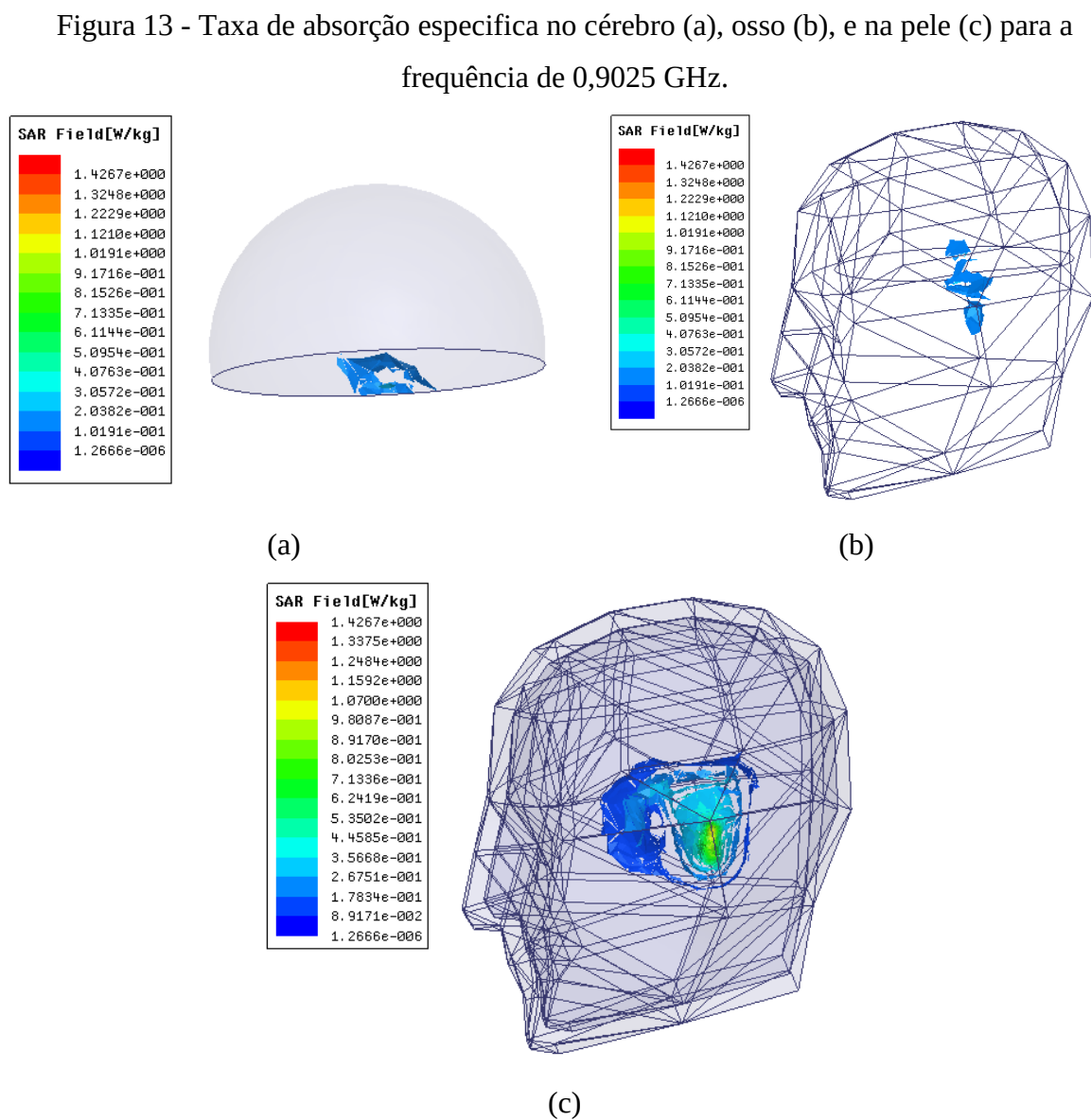
Figura 12 – Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 0,835 GHz.



Fonte: Autoria Própria (2018).

É visto que a radiação eletromagnética tem uma alta intensidade na região mais externa do molde, ao qual é representada pela pele. Com o aumento da distância entre o ponto mais próximo da antena em relação ao molde, os campos eletromagnéticos são atenuados e a amplitude da onda diminui, consequentemente o SAR também diminui.

A simulação seguinte foi realizada com segunda antena, que representa a segunda geração. A Figura 13 mostra o SAR em cada uma das camadas para a frequência de 0,9025 GHz.

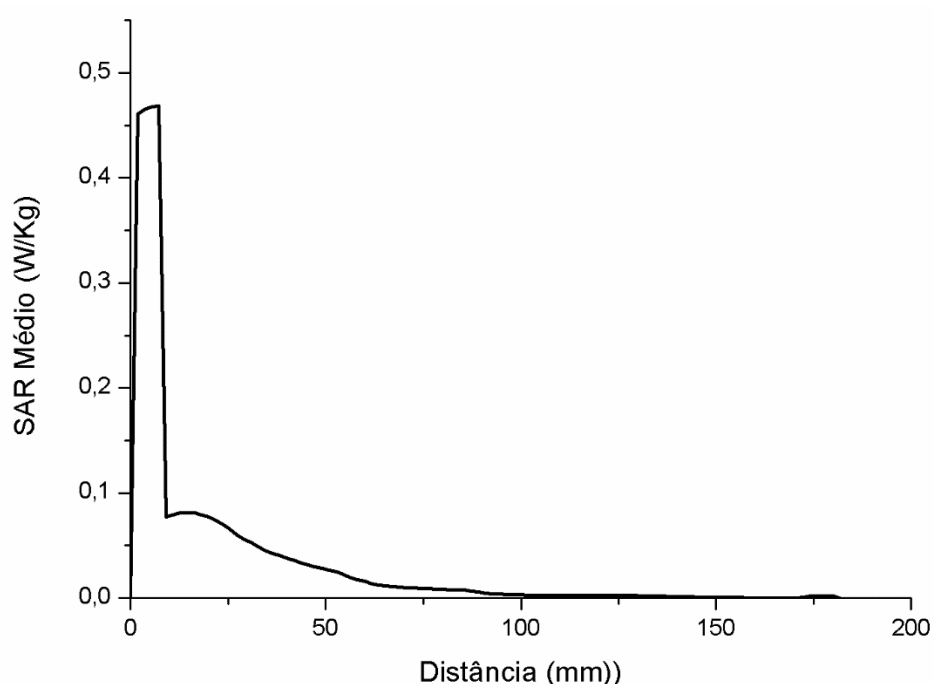


Fonte: Autoria Própria (2018).

Assim como na primeira geração, a área afetada na camada da pele é maior do que as demais. Essa semelhança se perpetua devido as dimensões das antenas serem próximas já que as frequências também são próximas. O fato de a absorção diminuir a cada camada permanece nessa simulação, já que a permissividade no molde não é alterada.

Já a intensidade do campo eletromagnético, nessa simulação, diminuiu em relação a primeira simulação. A Figura 14 mostra a absorção média dos campos no molde para a frequência de 0,9025 GHz.

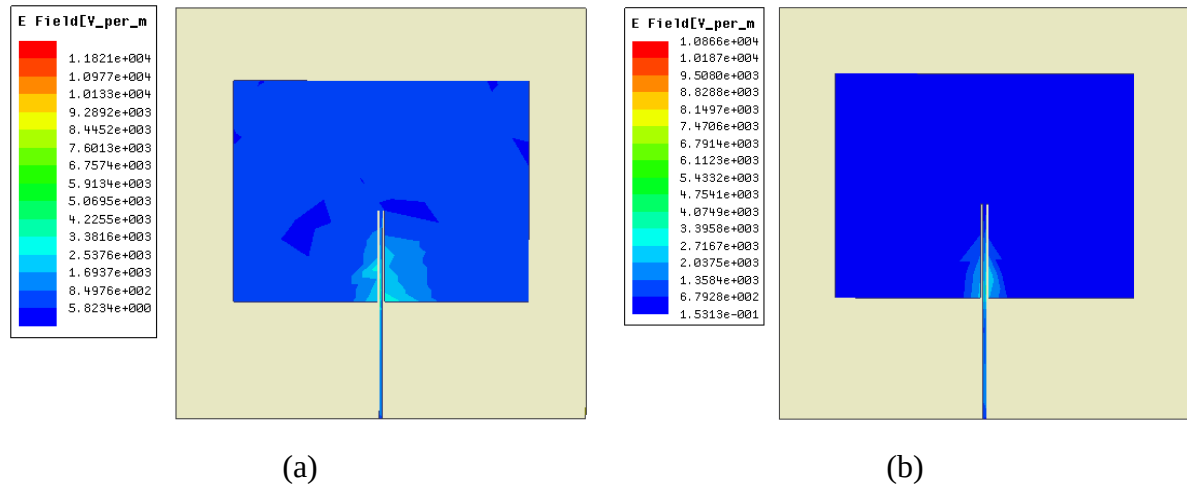
Figura 14 – Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 0,9025 GHz.



Fonte: Autoria Própria (2018).

A diminuição na intensidade da radiação diminuiu devido a concentração de campo elétrico no patch da segunda antena ser menor do que a primeira, conforme a Figura 15. O fato de a concentração de campo elétrico na segunda ser menor do que a primeira também levou os campos a se atenuarem mais lentamente dentro do molde, de acordo com a Figura 14.

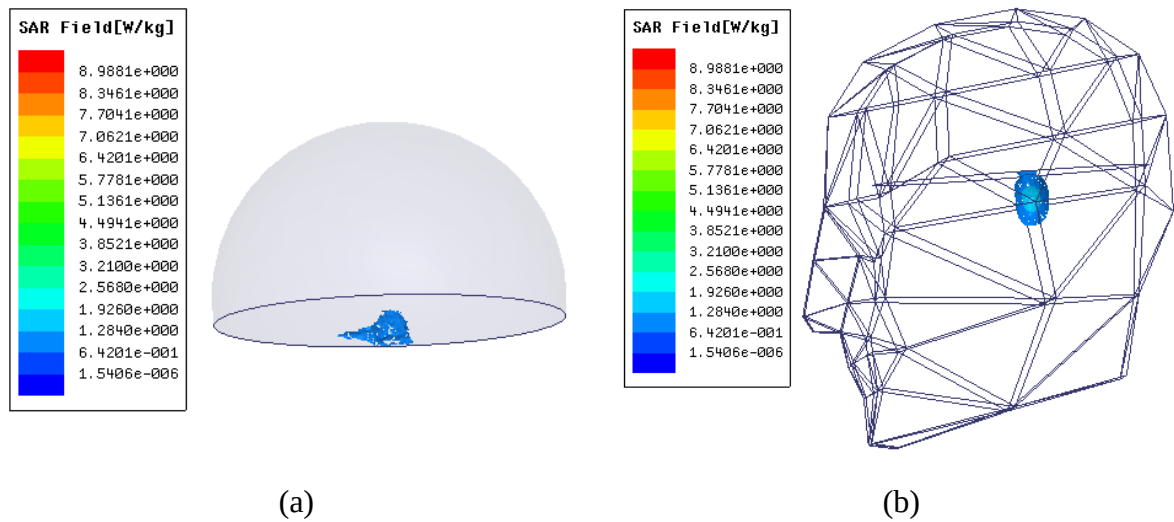
Figura 15 – Distribuição de campo elétrico no *patch* das antenas de 0,835 GHz (a) e 0,9025 GHz (b).

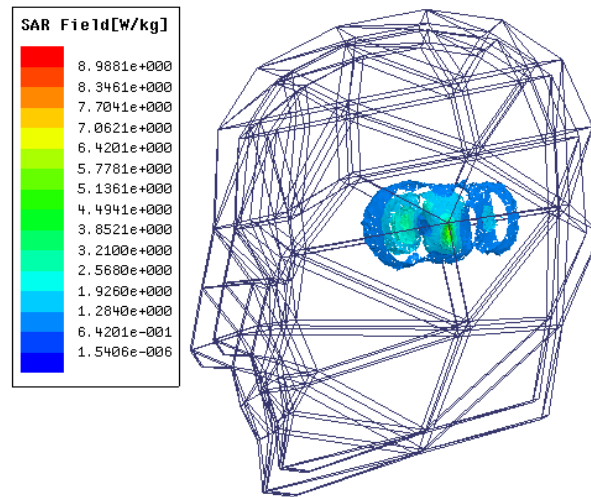


Fonte: Autoria Própria (2018).

A terceira simulação realizou-se com a antena da terceira geração. Nessa geração a frequência de operação dobrou para atender a demanda por transmissão de dados. A Figura 16 mostra o SAR em cada uma das camadas para a frequência de 1,865 GHz.

Figura 16 - Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 1,865 GHz.





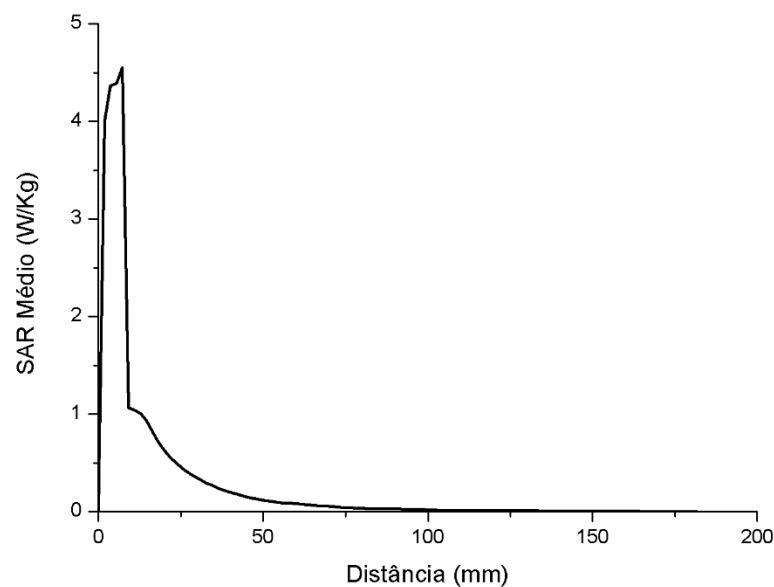
(c)

Fonte: Autoria Própria (2018).

Com o dobro da frequência, em relação a segunda antenna, as dimensões da antenna da terceira geração diminuíram, como resultado a área afetada pela radiação diminuiu. Em contrapartida a intensidade do campo eletromagnético aumentou, isso resulta em um aumento do SAR.

As outras características como atenuação da onda através das camadas permanecem inalterada. A Figura 17 mostra a absorção média dos campos no molde para a frequência de 1,865 GHz.

Figura 17 – Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 1,865 GHz.

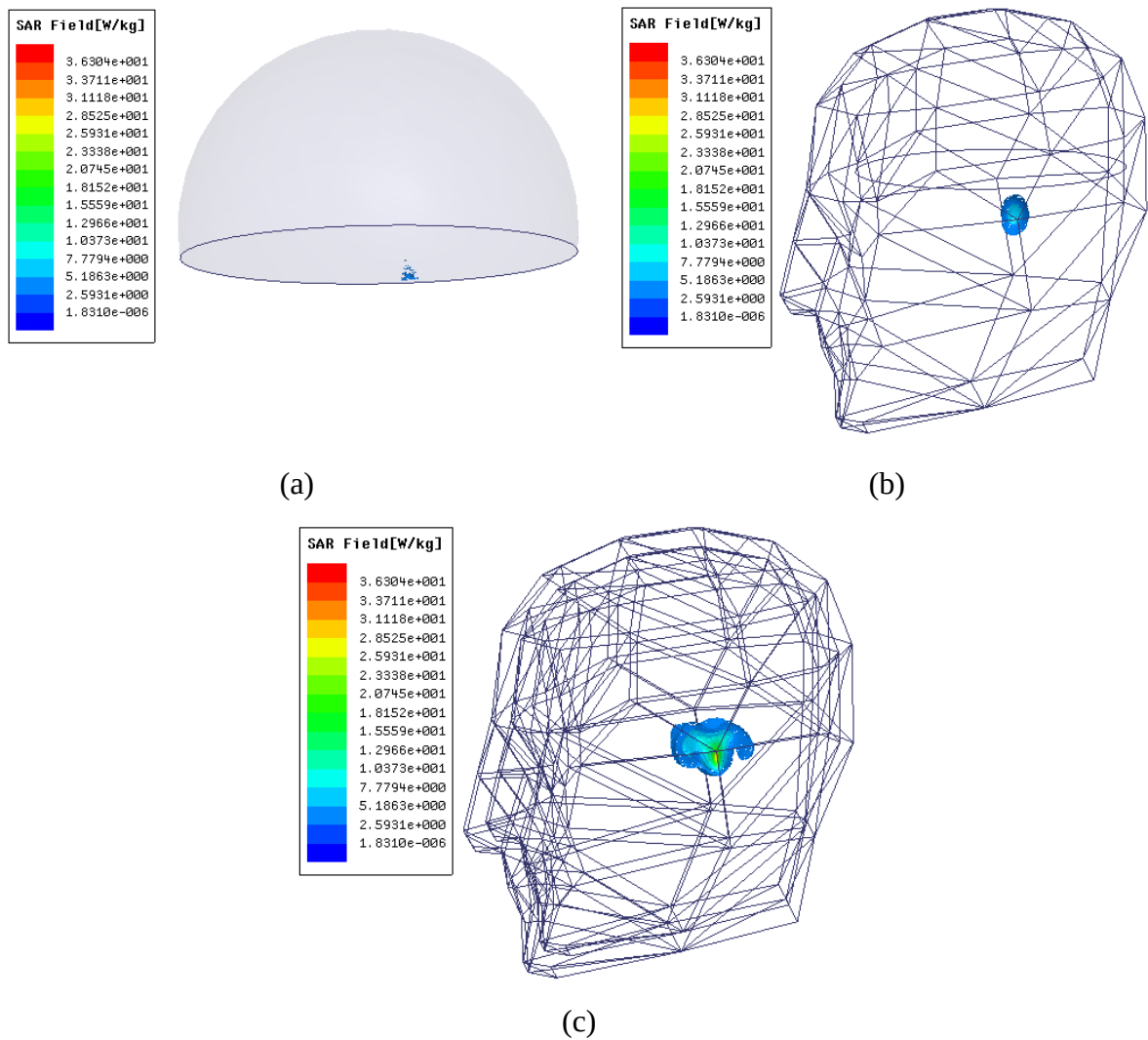


Fonte: Autoria Própria (2018).

Nessa terceira simulação, a atenuação da onda dentro do molde diminui mais rápido do que nas duas simulações anteriores, conforme a Figura 17.

Por fim a última simulação foi feita com a antena referente a quarta geração. A Figura 18 mostra o SAR em cada uma das camadas para a frequência de 2,535 GHz.

Figura 18 - Taxa de absorção específica no cérebro (a), osso (b), e na pele (c) para a frequência de 2,535 GHz.

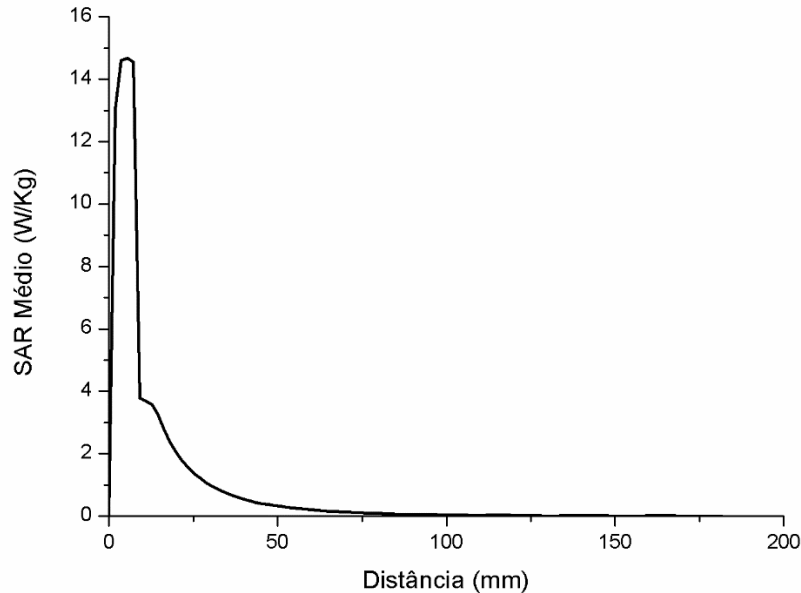


Fonte: Autoria Própria (2018).

Como pode ser observado na Figura 18 a área afetada pela radiação é menor do que nas demais simulações. Isso constata que a área afetada pelo campo eletromagnético está ligada com as dimensões do plano irradiante, que nesse caso é o *patch* retangular.

Em contrapartida a alta intensidade campos que incide no dentro do *phantom*, a absorção da onda nas demais camadas é reduzida. Isso pode ser observado na Figura 19 que mostra a absorção média dos campos no molde para a frequência de 2,535 GHz.

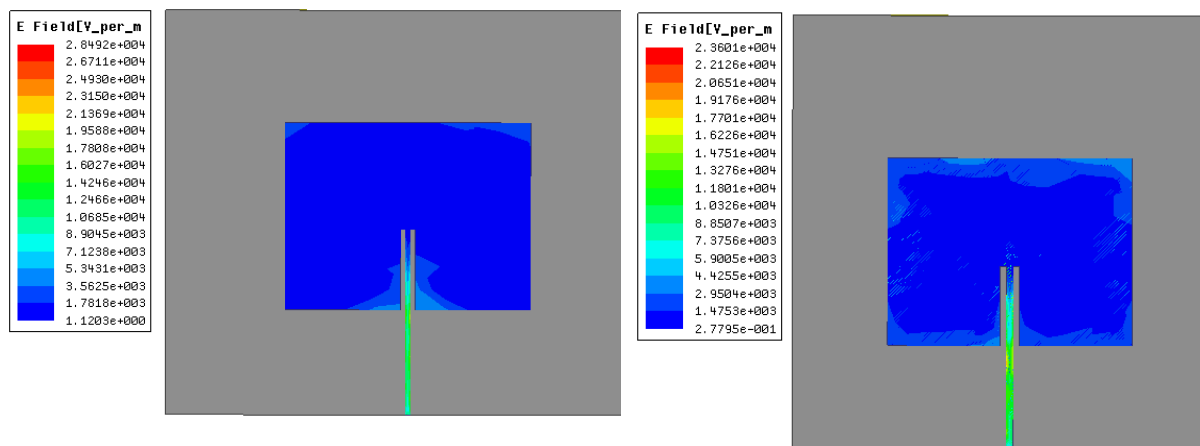
Figura 19 – Absorção dos campos eletromagnéticos para a frequência de 2,535 GHz.



Fonte: Autoria Própria (2018).

O aumento do SAR nas duas últimas simulações está relacionado com a quantidade de campo elétrico no ponto de estudo. A concentração de campo elétrico no *patch* de cada antena, conforme a Figura 20.

Figura 20 – Distribuição de campo elétrico no *patch* das antenas de 1,865 GHz (a) e 2,535 GHz (b).



Fonte: Autoria Própria (2018).

Como o objetivo da terceira e da quarta geração é a conexão do aparelho móvel com a internet, o aumento do campo elétrico é necessário para poder ser transmitido e recebido os dados necessários. A Tabela 4 sintetiza os resultados obtidos nas simulações

Tabela 4 – Resultados obtidos nas quatro simulações.

Parâmetros	Gerações			
	1ª Geração	2ª Geração	3ª Geração	4ª Geração
Amplitude do SAR Absorvido (W/Kg)	1,5446 – 3,4615 $\times 10^{-6}$	1,4267 – 1,266 $\times 10^{-6}$	8,9881 – 1,5406 $\times 10^{-6}$	36,304 – 1,8310 $\times 10^{-6}$
SAR Médio (W/Kg)	0,7	0,45	4,5	14,5

Fonte: Autoria Própria (2018).

Segundo a Tabela 4 na segunda geração houve uma diminuição do SAR no local de estudo pois a concentração de campo elétrico irradiada pela antena (Figura 15) naquela região é menor do que nas demais simulações. Isso é justificado de acordo com a Equação 1, que relaciona a taxa de absorção específica com o campo elétrico.

Já em relação a exposição a taxa de absorção específica ICNIRP (1998) diz que o SAR máximo que pode ser absorvido na cabeça humana é de 2 W/Kg. Na primeira e na segunda simulação foi observado que o molde foi submetido a níveis aceitáveis de SAR, sendo eles de 0,7 W/Kg (Figura 12) para a primeira geração e 0,45 W/Kg (Figura 14) na segunda geração.

Já a terceira e a quarta geração superam o valor máximo estabelecido pela norma, sendo eles de 4,5 W/Kg (Figura 17) para a terceira geração e 14,5 W/Kg (Figura 19) para a quinta geração.

5. CONCLUSÃO

A regulamentação brasileira para absorção de energia eletromagnética surgiu a partir dos parâmetros estabelecidos pela ICNIRP. É dito que a exposição a ondas eletromagnéticas não causa efeitos danosos ao corpo humano em longo prazo, desde que a exposição seja controlada.

As duas primeiras antenas (primeira e segunda geração) modeladas neste trabalho apresentam valores abaixo do limite estabelecido pela ICNIRP. Já as duas outras antenas (terceira e quarta geração) os valores superam os limites estabelecidos.

Os valores de SAR apresentados nesse trabalho foram obtidos para a partir de um tipo de antena que não é utilizado em aparelhos celular, a posição das antenas não é a mesma dos aparelhos, além de que em um dispositivo existe outros componentes que atenuam a onda eletromagnética, aos quais não foram considerados nesse trabalho.

Dito isso, a taxa de absorção específica pode variar em situações reais, entretanto, os modelos aqui apresentados geram uma boa expectativa do que pode ser encontrado em situações reais.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, M. S.; LOPES, WASLON T. A.; ALENCAR, T. T. **O fantástico Padre Landell de Moura e a Transmissão sem Fio**. 2012. Disponível em: <<http://landelldemoura.com.br/o%20fantastico%20padre%20landell%20de%20moura%20transmissao%20sem%20fio.pdf>>. Acesso em: 23 de jul. 2018.

ALMEIDA, H. **A Longa (e interminável) construção da biografia do padre Landell**. In: **Por que o Pe. Roberto Landell demoura foi inovador? Conhecimenbto, fé e ciência: Artigos, crônicas, charges, documentário em áudio e documentos oficiais**. KLÖCKNER, L.; CACHAFEIRO, M. S. (Orgs.). 2012. p. 17-38. Disponível em: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/Ebooks/Web/978-85-397-0226-8/pages/v2.pdf>>. Acesso em: 24 de jul. 2018.

ANATEL. **Ondas Eletromagnéticas e as Pessoas**. 2015. Disponpivel em: <<http://www.anatel.gov.br/setorregulado/exposicao-a-campos-eletromagneticos?id=229>>. Acesso em: 30 de jul. 2018.

ANATEL. **Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002**. 2002. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em 30 de jul. 2018.

ARAÚJO, G. L. R. **Efeito da Inclinação do Plano de Terra para Antenas de Microfita Multicamadas com Elementos Parasitas Fractais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica da UFRN). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BALANIS, C. A. **Teoria de Antenas: Análise e síntese**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009, 317 p.

BRASIL. **Lei nº 9.742, de 16 de julho de 1997. Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jul. 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9472.htm>. Acesso em: 30 jul. 2018.

BULLA, G. **Cálculo da taxa de absorção específica e aumento da temperatura em modelos de cabeça de adulto e criança**. 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica da UFRS). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CRUZ, S. C. **Verificação nos níveis de radiação emitidos pelas antenas das ERBs e a percepção das comunidades próximas**. 2005. 165.f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica da PUC-Rio). Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

ICNIRP. **ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)**. HEALTH PHYSICS 74 (4):494-522; 1998.

HAMARI WEB. **Nokia 2110 Pictures**. Disponível em: <https://hamariweb.com/mobiles/nokia-2110_mobile-phone-images358.aspx>. Acesso em 29 de ago. 2018.

HOLANDA, S. M. **Estudo e desenvolvimento de antenas de microfita utilizando tecido de malha a base de fibras têxteis compostas**. 2016, 142 f. Dissertação (Mestrado Em Sistemas De Comunicação E Automação). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

HOOTSUIT. **Digital in 2018**. 2018. Disponível em: < <https://hootsuite.com/pt/pages/digital-in-2018>>. Acesso em: 29 de jul. 2018.

LOGICENGENHARIA. **Histórico da telefonia celular**. Disponível em: <<http://www.logicengenharia.com.br/mcamara/alunos/GSM&GPRS.pdf>>. Acesso em: 29 de jul. 2018.

LOJA ASUS. Disponível em:<<https://loja.asus.com.br/>>. Acesso em: 29 de ago. 2018.

MICROLINS. **Linha do tempo: A evolução dos celulares**. 2017. Disponível em: <<https://www.microlins.com.br/noticias/tecnologia/linha-do-tempo-a-evolucao-dos-celulares>>. Acesso em: 29 de ago. 2018.

OLIVEIRA, E. E. C. **Antena de Microfita com Pacth Quase -fractal para Aplicações em Redes WPAN/WLAN**. 2008, 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

PANZO, A. N. et al. **Simulação dos Efeitos Não Ionizantes da Radiação Eletromagnéticas na Cabeça Humana**. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/pibic/congressos/xxcongresso/paineis/094606.pdf>>. Acesso em: 29 de jul. 2018.

POZAR, David M. **Microwave Engineering**. 4 ed. United States of America: John Wiley & Sons. p. 756. 2012.

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. Pearson Prentice Hall, 2009.

SANTANA, T. A. A. **Análise da Poluição Eletromagnética na Região Urbana de Mossoró-RN**. 2018. 118 f Dissertação (Mestrado Em Sistemas De Comunicação E Automação). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

SILVA, M. F. S. et al. **Evolução da Telefonia Celular e suas tendências tecnológicas**. 2004. Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2004/trabalhos/inic/6.htm>. Acesso em: 30 jul. 2018.

SILVA, I. B. T. **Projeto e Análise de Antena de Microfita com Utilização de Metamaterial do tipo CSRR**. 2014. 115f. Dissertação (Mestrado Em Sistemas De Comunicação E Automação). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014a.

SILVA, J. A. V. **A evolução dos celulares**. 2014b. Disponível em: <<http://tecnologia2014jeferson.blogspot.com/2014/06/a-evolucao-dos-celulares.html>>. Acesso em 29 de ago. 2018.

SGANZARELA, A. R.; RÜCKER, L. H. A. **Estudo comparativo entre as redes 3G e 4G**. 2010. Disponível em:

<<http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/RSS/TCCRSS09A/Andrei%20Ricardo%20Sganzerla%20-%20RSS09A.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

TELECO. LTEI: **Revisão de literatura**. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialltevoz1/pagina_2.asp>. Acesso em: 29 de jul. 2018.

TELECO. **Frequências de Celular**. 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/areasc.asp>>. Acesso em: 29 de jul. 2018.

TUDE, E. **GPRS**. 2003. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialgprs.pdf>>. Acesso em 29 de jul. 2018.

VALENTE JÚNIOR, W. **Avaliação do Ambiente Eletromagnético em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, Florianópolis, 2006.