



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia
Departamento de Ciência e Tecnologia Têxteis

Novos Horizontes em Design de Moda: Desenvolvimento de Antena para Vestuário

Caroline Loss

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Design de Moda
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof^a. Doutora Luísa Rita Brites Sanches Salvado
Co-orientador: Prof. Doutor Pedro Renato Tavares Pinho

Covilhã, Outubro de 2012

Este documento foi redigido ao abrigo no Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa

Dedicatória

À minha família, com todo o carinho.

Agradecimentos

Dentre muitas pessoas que foram importantes no trilhar deste árduo caminho, algumas merecem aqui uma consideração especial. Primeiramente gostaria de agradecer aos meus dois pilares: Deus e minha família. Meus pais, Suzete e Severino, por acreditarem nas minhas capacidades, por apoiarem-me sempre em qualquer decisão e, principalmente por nunca deixarem-me desistir; à Franciele Loss, por estar sempre presente nas horas que mais precisei e por ser a melhor irmã que poderia ter; ao Adriano Keller por cuidar desta família e ajudar a ensinar ao Miguel que mesmo a tia estando ausente ela o ama demais.

Aos meus orientadores: à Prof^a. Doutora Rita Salvado, que para mim é um exemplo de mulher a ser seguido, por mostrar-me o caminho da investigação, pelo tempo e paciência dedicado, pela partilha de seu saber e principalmente pela confiança em mim depositada. E ao Prof. Doutor Pedro Pinho pela troca de conhecimento e pela ajuda para compreender melhor este universo das antenas.

Ao Ricardo Gonçalves, pelo tempo dedicado à simulação das antenas e por fazer-se disponível as minhas dúvidas.

Ao Prof. Doutor Fernando Velez e a equipe do PROENERGY-WSN que ajudaram no início desta investigação.

À Bernadete Venzon, Mercedes Manfredini e Juçara Caberlon por me fazerem acreditar sempre em meu potencial e incentivarem-me a ir sempre em busca de mais conhecimento.

Às irmãs Rita e Cristina Enes, a Dona Odete e a prof^a. Alice Sainhas, por serem verdadeiros anjos em meu caminho acolhendo-me no dia em que cheguei a Covilhã.

Aos amigos que na ausência de minha família tornam-se meu apoio. Em especial à Denise Rutkowski e Júlia Discacciati por todo carinho, amizade e início da minha “família portuguesa”; ao Luís Fernando pelas incontáveis horas perdidas dentro da UBI; e ao Pedro Miguel, pela paciência e compreensão nestes últimos meses, por estar sempre ao meu lado incentivando-me e fazendo os meus dias mais felizes.

Aos colegas de curso que com certeza foram os melhores. Em especial à Catarina Lopes por receber-me com carinho desde o primeiro dia de aula e ao João Alberto por ouvir sempre meus desabafos e por compartilhar comigo noite e dia as últimas semanas de UBI.

À todos os professores e técnicos do DCTT da Universidade da Beira Interior, por estarem sempre presentes quando necessário, contribuindo para minha formação.

Ao FCT/MCTES pelo financiamento da bolsa de licenciado para o projeto PTDC/EEATEL/122681/2010 - PROENERGY-WSN.

Resumo

Os hábitos de vida das pessoas são cada vez mais influenciados pelos imensos desenvolvimentos tecnológicos e avanços científicos em curso. As tendências de life-style indiciam um crescimento cada vez maior do consumo de produtos e processos tecnológicos, que está associado ao desenvolvimento socioeconómico global. Mas, simultaneamente indicam também uma preocupação cada vez maior pela saúde, pelo bem estar e pela sustentabilidade do planeta. O fenómeno da radiação eletromagnética (REM) invisível, existente no ambiente e resultante da utilização de aparelhos eletrónicos entre outros, desencadeou um novo tipo de poluição, conhecida por poluição eletromagnética ou *electrosmog*. Embora os efeitos da REM no corpo humano não sejam ainda bem conhecidos, as organizações de saúde têm alertado para potenciais riscos na saúde.

Esta dissertação assenta no estudo teórico da problemática do *electrosmog* e na consequente inferência de novas oportunidades para os designers de moda. Faz o estado da arte dos desenvolvimentos em moda tecnológica relacionados com o *electrosmog* posicionando o problema desta pesquisa na recolha de energia de REM através de antenas têxteis. A resolução deste problema visiona inúmeros desenvolvimentos sustentáveis em design de moda, nomeadamente desenvolvimento de vestuário inteligente para monitorização médica, desportiva e comunicação integrada. Assim, o desenvolvimento da pesquisa assenta numa revisão bibliográfica exaustiva de antenas têxteis já desenvolvidas e dos materiais têxteis usados para a sua construção. O estudo teórico analítico e comparativo das propriedades relevantes dos materiais têxteis é a base científica que sustenta a seleção de materiais adequados à construção de antenas têxteis eficientes e para uso universal.

Seguindo uma abordagem científica, faz-se a simulação prática de duas antenas têxteis do tipo *patch microstrip*. Os resultados obtidos revelam antenas eficientes para a largura de banda e frequência de ressonância consideradas e com dimensões pequenas: 8x6 cm² e 10x10 cm². Os resultados práticos obtidos são um bom presságio para futuros desenvolvimentos experimentais de antenas têxteis integradas em vestuário inteligente, ecológico e sustentável. As conclusões e resultados desta dissertação dão orientações científicas para uma escolha criteriosa dos materiais a usar e para uma construção eficiente da estrutura de antenas têxteis planares do tipo *patch microstrip*. Desta dissertação emergem inúmeros desenvolvimentos a realizar em design de vestuário e têxtil.

Palavras-chave

Electrosmog - Design tecnológico - Antenas têxteis - Interatividade - Vestuário inteligente - Recolha de energia - Sustentabilidade.

Abstract

The style of life of people has been more and more influenced by the multiple technological developments and scientific progresses of our days. Tendencies for life-style imply a growing consumption of technological products and processes that derive from the social and economic development of the global world. However, tendencies also imply a growing concern with health, well-being and sustainability of our planet. The invisible electromagnetic radiation (EMR) existing in atmosphere that results from the usage of electronic devices, among other causes, initiates a new kind of pollution, known as electromagnetic pollution and usually named as *electrosmog*. Despite the effects of EMR on the human body are still unknown, the world wide health organizations have been alerting or potential risks on people's health.

This dissertation is based on the theoretical study of the *electrosmog* question and on the resulting inference of new opportunities for fashion designers. One makes the state of the art of developments on technological fashion related to the *electrosmog*, positioning the problem of this research on the harvesting of energy by capturing EMR through textile antennas. The solution of this problem envisions multiple sustainable developments on fashion design, namely developments of smart cloths for medical monitoring, sports monitoring and integrated communication systems. Therefore, the development of this research is based on an extended bibliographic survey of textile antennas that have been developed and on the textile materials that have been used on them. The theoretical study, analyses and comparison of the relevant properties of the textile materials is the scientific base for the selection of materials well adapted to the construction of efficient and universal antennas.

Following a scientific methodology, two textile antennas, that are *patch microstrip* ones, are simulated. The achieved results reveal these practical antennas are efficient in the bandwidth considered and are resonant in the wished frequency. Moreover, they have small dimensions: 8x6 cm² e 10x10 cm². These results are a good presage of future experimental developments of textile antennas, integrated in smart cloths that are also ecological and sustainable. The main conclusions and results of this dissertation give scientific guidelines for a careful selection of the materials and for an efficient framing of *patch microstrip* antennas made of textile materials. From this dissertation multiple developments on fashion design emerge.

Keywords

Electrosmog - Technological Design - Textile Antennas - Interactivity - Smart Clothing - Energy harvesting - Sustainability.

Índice

Dedicatória	II
Agradecimentos.....	IV
Resumo	VI
Abstract	VIII
Lista de Figuras	XIII
Lista de Tabelas	XVI
Lista de Acrónimos	XVIII
Introdução	1
1.1 Enquadramento teórico.....	1
1.2 Objetivo geral.....	2
1.2.1 Objetivos específicos	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Contribuições originais.....	3
1.4.1 Artigos aceites em congresso	4
1.4.2 Artigos submetidos ainda pendentes	4
1.5 Estrutura da dissertação.....	4
Avanços tecnológicos e <i>Electrosmog</i>	5
2.1 Campos eletromagnéticos	6
2.2 Espectro eletromagnético	7
2.2.1 Radiações ionizantes e não ionizantes	8
2.3 Breve relato dos problemas de saúde apresentados pela exposição crónica aos CEM8	
2.3.1 Efeitos térmicos.....	10
2.3.1 Efeitos não-térmicos	11
2.4 Normas de exposição aos CEM.....	14
Design e tecnologia	16
3.1 Vestuário de proteção	17
3.1.1 Projetos artísticos/experimentais	17
3.1.2 Projetos funcionais/comerciais	19
3.2 Vestuário Inteligente	22
Antenas flexíveis	26
4.1 Parâmetros gerais das antenas <i>patch microstrip</i>	26
4.1.1 Diretividade	27

4.1.2 Ganho	27
4.1.3 Impedância de entrada	28
4.1.4 Largura de banda	28
4.1.5 Frequência de ressonância	28
4.1.6 Diagrama de radiação	28
4.2 Tipos de antenas flexíveis: estado da arte.....	29
Materiais têxteis para antenas vestíveis.....	33
5.1 Materiais Condutores.....	33
5.1.1 Resistividade elétrica superficial	33
5.1.2 Influência da deformação mecânica.....	34
5.1.3 Influência da proporção de fios condutores	36
5.1.4 Influência do teor de humidade	36
5.2 Materiais dielétricos.....	37
5.2.1 Permittividade dielétrica e tangente de perda	38
5.2.2 Influência da humidade relativa do ar	38
5.2.3 Espessura do material.....	41
5.3 Revisão dos materiais utilizados em projetos anteriores	41
Desenvolvimento de antenas	43
6.1 Simulação prática	43
6.1.2 Descrição das antenas	43
6.1.3 Materiais utilizados.....	43
6.2 Resultado das simulações	45
6.2.1 Antena 1	45
6.2.2 Antena 2	49
6.3 Análise dos resultados	53
6.4 Construção das antenas têxteis flexíveis.....	54
6.4.1 Orientações para a montagem dos vários componentes.....	54
6.4.2 Análises após a montagem das antenas	55
Conclusão	56
Bibliografia	59

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema de uma onda eletromagnética [fonte: 11]	7
Figura 2 - Espectro eletromagnético e a relação entre as diversas radiações, o modo como são produzidas e as suas aplicações ou produção prática. [fonte: Blog de Ciência]	8
Figura 3 - Tabela das propriedades dos materiais biológicos. [fonte: [14]].....	9
Figura 4 - (a-b) Lóbulos de absorção de um ser humano na frequência de 825 MHz. (a) demonstra o sistema nervoso central (líquido cefalorraquiano) e a caixa craniana; (b) sistema circulatório (veias e artérias) ou o sistema linfático, como antenas. [fonte: 15].....	10
Figura 5 - Comparação entre seções histológicas do cérebro dos ratos (com e sem radiação). [fonte: [20]].....	12
Figura 6 - Restrições básicas para campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0Hz-300GHz). [fonte: [22]].....	14
Figura 7 - Níveis de referência para campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0Hz - 300GHz, valores eficazes não perturbados). [fonte: [22]]	15
Figura 8 - "Taiknam Hat". [fonte: [6]].....	18
Figura 9 - Projeto e-ansã (a) demonstrando o movimento do vestido quando capta as ondas eletromagnéticas emitidas pelo telemóvel e (b) estrutura do vestido. [fonte: 29]	19
Figura 10 - Projetos do designer Koji Hamai (a) "Gradation" e (b) "Dry fish". [fonte: [30]]	20
Figura 11 - Diferente gama de tecidos do "O2 Pram". [fonte: [31]]	21
Figura 12 - Projetos comerciais (a) vestido protetor de radiações para grávidas [fonte: ElectroSmogShielding] e (b) calças Diesel/Lapo [fonte: Guia Jeans Wear]	22
Figura 13 - Leque da coleção Solar Vintage [fonte: [6]]	23
Figura 14 - Light Drops Umbrella [fonte: Yanko Design]	24
Figura 15 - Sound Charge [fonte: Tech Cocktail]	24
Figura 16 - The Solar Soldier [fonte: ABC News]	25
Figura 17 - Esquema de uma antena patch microstrip [fonte: 68]	27
Figura 18 - Geometria e dimensões de uma PIFA para Bluetooth [fonte: [44]]	29
Figura 19 - Geometria de uma antena para GPS com substrato de tecido [fonte: [46]]	30
Figura 20 - Composição de uma antena planar microstrip [fonte: 38].....	30
Figura 21 - Geometria de uma Antena de Anel Retangular [fonte: [50]]	31
Figura 22 - Geometria de uma antena coplanar para duas bandas [fonte: [48]]	31
Figura 23 - (a) antena espiral desenvolvida com entretela condutora de nylon (b) antena espiral bordada com fio condutor (c) antena espiral pintada com tinta condutora (d) antena Bowtie construída com tecido revestido com cobre. [fonte: [49]]	32
Figura 24 - Ilustração de um corte transversal do tecido com revestimento condutor. [fonte: [38]]	34
Figura 25 - Esquema de uma estrutura básica de malha - Jersey [fonte: autor]	35

Figura 26 - Gráfico demonstrando a variação na resistência elétrica de uma determinada malha devido ao alongamento [fonte: [38]]	35
Figura 27 - Esquema da estrutura do tecido - Cetim de 5, fios condutores a branco e fios não condutores a preto. [fonte: autor]	36
Figura 28 - Variação da resistência elétrica das fibras em relação a umidade relativa. [fonte: [56]]	37
Figura 29 - Relação entre fenômeno de recuperação de umidade no algodão, viscose, acetato, seda, lã, nylon, fibra acrílica Orlon e fibra de poliéster Terylene. [fonte: [56]]	39
Figura 30 - Efeito da umidade relativa a 20°C em relação a $\tan \delta$: A, viscose rayon; B, nylon 6.6; C, nylon 6; D, fibra acrílica Acrilan. [fonte [56]]	40
Figura 31 - Variação das propriedades dielétricas do algodão em relação ao teor de umidade (M). [fonte [56]]	40
Figura 32 - Variação das propriedades dielétricas de várias fibras em relação ao teor de umidade a 1 kHz. [fonte: [56]]	40
Figura 33 - Design da antena 1. [fonte: autor]	45
Figura 34 - Esquema da antena 1. [fonte: autor]	46
Figura 35 - Resposta simulada da impedância da antena 1. [fonte: autor]	47
Figura 36 - Perdas de retorno (S_{11}) simuladas para a antena 1. [fonte: autor]	47
Figura 37 - Diagrama de radiação (3D) simulado da antena 1. [fonte: autor]	48
Figura 38 - Diagrama de radiação (2D) simulado da antena 1. [fonte: autor]	48
Figura 39 - Design da antena 2. [fonte: autor]	49
Figura 40 - Esquema da antena 2. [fonte: autor]	50
Figura 41 - Resposta simulada da impedância da antena 2 (parte real demonstrada pela linha negra e a parte imaginária pela linha azul). [fonte: autor]	51
Figura 42 - Perdas de retorno (S_{11}) simuladas para a antena 2. [fonte: autor]	51
Figura 43 - Diagrama de radiação (3D) simulado da antena 2. [fonte: autor]	52
Figura 44 - Diagrama de radiação (2D) simulado da antena 2. [fonte: autor]	52
Figura 45 - Comparação dos diagramas de radiação (2D) simulados das antenas 1 (linha azul) e 2 (linha verde). [fonte: autor]	53

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Quadro comparativo dos materiais têxteis utilizados no design de antenas flexíveis [fonte: autor]	42
Tabela 2 - Especificações do tecido condutor. [fonte: autor].....	44
Tabela 3 - Especificações dos tecidos dielétricos [fonte: autor]	44
Tabela 4 - Dimensões da antena 1. [fonte: autor]	46
Tabela 5 - Dimensões da antena 2. [fonte: autor]	50

Lista de Acrónimos

ADN	Ácido Desoxirribonucleico, do inglês DNA (Deoxyribonucleic Acid)
CEM	Campo Eletromagnético
dB	Decibel
dBi	Decibel Anisótropo
DCTT	Departamento de Ciência e Tecnologia Têxteis
ERB	Estação Rádio-Base
ES	Eletrosensibilidade
GHz	Gigahertz
GPS	Global Positioning System, no português Sistema de Posicionamento
GSM	Global System for Mobile Communications, originalmente Groupe Special Mobile, no português Sistema Global para Comunicações Móveis
HF	Alta Frequência, do inglês High Frequency
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LCP	Liquid Crystal Polymer, no português Polímero Cristal Líquido
LED	Ligh Emitting Diode, no português, Diodo Emissor de Luz
MHz	Megahertz
OMS	Organização Mundial da Saúde
PIFA	Planar Inverted F Antenna, no português Antena Planar F Invertido
REM	Radiação Eletromagnética
RF	Rádio Frequência
SAR	Taxa de absorção específica de energia
SRCS	Short Range Communication Systems
TAE	Taxa de absorção Específica
TV	Televisão
UBI	Universidade da Beira Interior
UMTS	Universal Mobile Telecom System, no português Sistema Universal de Telecomunicações Móveis
UV	Ultra Violeta
UK	United Kingdom, no português Reino Unido
WLAN	Wireless Local Area Network, no português Rede Local Sem Fio

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento teórico

O atual cenário mundial caracteriza-se por desenvolvimentos tecnológicos e avanços científicos. O ser humano moderno, como nos descreve Edgard Moreira da Silva em [1], é impulsionado pelo mercado de massa gerado pelo poder do marketing, e está cada vez mais dependente das facilidades que as novas tecnologias podem proporcionar. Mas, este crescimento elevado de consumo de produtos e processos tecnológicos associados ao desenvolvimento socioeconómico trouxe consigo algumas contradições evidentes.

Nomeadamente, surgiu um vasto número de redes de comunicações que interconectam as sociedades do mundo todo, deste modo, podemos dizer que toda a vida na Terra ficou permanentemente exposta a um mar de campos eletromagnéticos (CEM), emanados de linhas de transmissão de alta tensão, fornos a micro-ondas, antenas de rádio, TV e comunicação móvel (estações rádio base e terminais portáteis), e muitas outras fontes similares. Este fenómeno da radiação eletromagnética (REM) invisível, resultante da utilização destes aparelhos, desencadeou um novo tipo de poluição, conhecida por poluição eletromagnética ou *electrosmog* [2].

Com isto, cresce exponencialmente a preocupação dos seres humanos em relação aos riscos e aos males que a exposição constante aos CEM podem causar à saúde. Em 2006, um grupo de trabalho da Organização Mundial de Saúde concluiu não haver dados científicos consistentes para afirmar que a exposição aos níveis legais de radiofrequência (RF) resultantes da utilização dos dispositivos eletrónicos fosse prejudicial à saúde das pessoas [3]. Mas esta conclusão ainda não é consensual e a dúvida persiste.

As tendências de life-style indiciam um cada vez maior crescimento do consumo de produtos e processos tecnológicos, que está associado ao desenvolvimento socioeconómico global. Mas simultaneamente indicam também uma cada vez maior preocupação pela saúde, pelo bem estar e pela sustentabilidade do planeta [69].

Tendo em conta que, como nos explica Ezio Manzini em [4], o designer deve responder perante a questão da responsabilidade contribuindo positivamente para a construção de um mundo habitável e, assumindo que a roupa é a interface entre o utilizador e o meio ambiente [5], alguns designers já se começaram a interessar por transformar a arte da moda em desenvolvimento científico, interpretando assim a atual demanda do “desejo tecnológico” de um modo consciente [6]. Deste modo, os designers de moda são atualmente

desafiados a pensar em novos projetos que interliguem diversos requisitos em um mesmo produto como função, forma, desempenho, ergonomia e conforto.

Neste âmbito dois novos caminhos se abrem na investigação dos produtos de moda. Um é a resposta direta a este desafio: a criação de vestuário de proteção à radiação eletromagnética, onde a moda desempenha um papel importante para alcançar uma aceitação positiva junto do consumidor que, pode rejeitar a funcionalidade da roupa protetora em razão da aparência da mesma [5]. E o outro, que é a temática na qual se integra esta dissertação, é a criação de vestuário inteligente, que traz novos valores para a moda [6], nomeadamente desenvolvendo vestuário capaz de comunicar dados e recolher energia, no qual é necessário integrar antenas confeccionadas em materiais têxteis. De fato, nos últimos anos, cresceu o interesse pela exploração dos “computadores vestíveis”, também denominado tecnologia “*wearable*”. No mesmo sentido, está a surgir uma nova geração de peças de vestuário, capaz de integrar sistemas de radiofrequência ou rede de sensores que monitoriza sinais vitais do utente, comunicando instantaneamente os dados recebidos a uma unidade de controlo.

Estas novas funcionalidades do vestuário requerem uma antena têxtil discretamente integrada, que será o elo de ligação para tornar a roupa parte integrante das propostas de comunicação. Para além desta funcionalidade, as antenas têxteis aqui propostas serão concebidas para recolherem a radiação eletromagnética dos ambientes com *electrosmog*, transformando-a em energia limpa que poderá ser posteriormente utilizada na alimentação de dispositivos eletrónicos ou redes de sensores no corpo.

Em termos de mercado, o sucesso das empresas de moda passa por satisfazer e exceder as expectativas dos consumidores. Como estes estão cada vez mais exigentes quanto ao desempenho funcional dos artigos de vestuário, projetos que agregam tecnologia e funcionalidade, atendem as necessidades do mesmo, contribuindo para o desenvolvimento da indústria da moda [7] e por arrasto da indústria têxtil.

1.2 Objetivo geral

Esta dissertação tem com objetivo propor antenas totalmente têxteis e flexíveis, que tenham capacidade de recolha da radiação eletromagnética do ambiente, problemática da poluição eletromagnética - *electrosmog*, para ser posteriormente utilizada na alimentação de rede de sensores de monitorização da saúde e bem-estar e/ou outros dispositivos electrónicos. A antena têxtil é o elemento funcional chave na criação de vestuário inteligente que aborda de forma sustentável a problemática da *electrosmog*.

1.2.1 Objetivos específicos

- Explorar o conceito de campos eletromagnéticos e o contexto da poluição eletromagnética em termos de oportunidades de recolha de energia e de efeitos no corpo humano;
- Relacionar a moda com a tecnologia, desenvolvendo um estado da arte e uma revisão de projetos já existentes relacionados com a *electrosmog* e com a recolha de energia ambiente inspiradores para futuros desenvolvimentos;
- Identificar e estudar as propriedades dos materiais têxteis relevantes na aplicação em antenas e relacionar as propriedades entre si, definindo orientações para a seleção de materiais adequados às várias funções: substrato, plano de massa e patch bem como para o processo de montagem das antenas têxteis;
- Aplicar conceitos básicos de antenas ao desenvolvimento de antenas *patch microstrip*;
- Criar oportunidades e bases científicas para o desenvolvimento de vestuário inteligente e produtos de moda emergentes do *electrosmog*.

1.3 Metodologia

Este trabalho baseia-se numa pesquisa exploratória de novas funcionalidades para o design de moda. Assenta no estudo teórico da problemática do *electrosmog* e seus riscos para a saúde das pessoas e na conseqüente inferência de novas oportunidades para os designers. Faz o estado da arte dos desenvolvimentos em moda tecnológica relacionados com o *electrosmog* nele posicionando o problema da pesquisa. Baseia o desenvolvimento da pesquisa numa revisão bibliográfica exaustiva de antenas têxteis já desenvolvidas e dos materiais têxteis usados para a sua construção. O estudo teórico das propriedades relevantes dos materiais a usar nas antenas é a base do método científico que sustenta e orienta a seleção dos materiais a aplicar em antenas.

O desenvolvimento prático passa pela simulação de duas antenas. A simulação é assim feita com método científico, diferenciando-se da abordagem empírica. A abordagem científica sustenta conclusões que servem de base a diversos desenvolvimentos práticos futuros em moda e em têxtil.

1.4 Contribuições originais

1.4.1 Artigos aceites em congresso

Global Fashion Conference. Dias 15,16 e 17 de Novembro de 2012, Madrid. Poluição Electromagnética e os Novos Desafios em Moda: Integração de Antenas em Vestuário. Autores: Caroline Loss, Rita Salvado e Pedro Pinho. Idioma: Português.

1.4.2 Artigos submetidos ainda pendentes

Sensors Journal. Textile Materials for the Design of Wearable Antennas: a Survey. Autores: Rita Salvado, Caroline Loss, Ricardo Gonçalves e Pedro Pinho. Idioma: Inglês.

Designa International Conference on Design Research 2012 - Un/Sustainability. Dias 22 e 23 de Novembro de 2012, Covilhã. Antenas Têxteis Integradas em Vestuário para Recolha de Energia Ambiente. Autores: Caroline Loss, Rita Salvado e Pedro Pinho. Idioma: Português.

Conferência Internacional - Design Sustentável e Inclusivo. Dias 8 a 10 de Novembro de 2012, Guimarães. Antenas Têxteis Integradas em Vestuário - Abordagem Sustentável ao *Electrosmog*. Autores: Caroline Loss, Rita Salvado e Pedro Pinho. Idioma: Português.

1.5 Estrutura da dissertação

Este trabalho está dividido em 7 capítulos. O capítulo 1, *Introdução*, apresenta o resumo geral, bem como descreve os objetivos deste estudo. O capítulo 2, *Avanços tecnológicos e electrosmog*, inicia o estudo com uma melhor compreensão dos campos eletromagnéticos que estão presentes no nosso quotidiano. Além disso, apresenta a origem da *electrosmog* e como interage com o corpo humano. No capítulo 3, *Design e tecnologia*, faz-se uma introdução sobre a interação entre o design e a tecnologia, analisando projetos relevantes já existentes neste âmbito. No capítulo 4, *Antenas flexíveis*, definem-se os conceitos básicos das antenas e uma breve descrição das antenas têxteis. No capítulo 5, *Materiais têxteis para antenas vestíveis*, apresenta-se o estudo aprofundado dos materiais têxteis condutores e dielétricos utilizados na construção deste tipo de antenas, pontuando as dificuldades de montagem das mesmas. No capítulo 6, *Desenvolvimento de antenas*, faz-se a simulação de duas antenas têxteis, construídas a partir de diferentes materiais selecionados por método científico e caracteriza-se pontos chave para a montagem das mesmas. Finalmente no capítulo 7, são descritas as conclusões desta pesquisa e apresentados projetos futuros para aplicação da antena no desenvolvimento de vestuário inteligente.

Capítulo 2

Avanços tecnológicos e *Electrosmog*

“Comunicar é de sempre. Como se comunica, é de hoje. Como se comunicará, pertence um pouco ao presente, mas essencialmente, pertence ao futuro, que, sendo distante, é imprevisível, acreditamos assim e nesta atitude prestamos homenagem à capacidade do homem em matéria de concepção e arte.” [8]

A necessidade do homem comunicar-se data dos tempos primórdios quando ele passou a viver em sociedade. As primeiras evidências disto foi o surgimento das pinturas nas cavernas, onde o homem pré-histórico passou a expressar os seus sentimentos, o seu quotidiano e até mesmo a sua cultura. Podemos dizer que com o aparecimento da escrita na Mesopotâmia e no Egito, rapidamente outros meios de comunicação começaram a surgir, como por exemplo o jornal. Mas, as grandes evoluções começaram a aparecer após Oersted ter descoberto o eletromagnetismo em 1820.

Com isto, em 1837 Samuel Morse patenteia o primeiro telégrafo eletromagnético, surgindo assim também o “Código Morse”¹. Passados 39 anos, Alexander Bell inventa o primeiro telefone e, 11 anos depois Heinrich Hertz produziu as primeiras ondas de rádio, abrindo caminho para em 1896 Guglielmo Marconi realizar a primeira transmissão sem fio transoceânica da história através de um radiotelegrafo.

Após este evento, em 1920 inicia-se a radiodifusão comercial e 3 anos mais tarde Vladimir Zworykin concebe o primeiro aparelho televisor (TV). Dando continuidade à invenção de dispositivos que funcionam através da radiofrequência, em 1935 Robert Watson Watt cria o primeiro modelo de radar e, 20 anos depois os tão conhecidos *paggers* começam a ser utilizados nos hospitais.

Em meados de 1969, no Departamento de Defesa dos Estados Unidos, surge a ARPANET², a pioneira da atual internet que em 1984 se tornou mundialmente conhecida e passou a ser utilizada por milhões de pessoas. Mas, somente 20 anos depois começa a ser instalada a tecnologia *wireless*³ nas universidades, aeroportos, centros comerciais etc.

¹ Morse estabeleceu uma correspondência entre as letras do alfabeto latino e as sequências de números dos símbolos, do alfabeto Morse: o ponto e o traço [8].

² Sistema operacional que possibilitava o acesso de computador a computador e o protocolo de pacotes de códigos TCP/IP, que permitia a comunicação entre redes diferentes [Wikipédia].

³ A tecnologia Wireless (em português, sem fio) permite a conexão entre diferentes pontos sem a necessidade do uso de cabos), através da instalação de uma antena e de um rádio de transmissão [Wikipédia].

Por outro lado, há ainda a tecnologia de telefonia móvel que evoluiu muito nas últimas décadas. A sua origem foi no Japão por volta de 1984 e em apenas 11 anos os aparelhos de telemóvel ficaram acessíveis à população mundial. Estes aparelhos têm demonstrado um rápido desenvolvimento, tanto em matéria de tecnologia como de design e, em 2002 já suportavam vídeos e tinham acesso à internet ([9]-[8]).

Como podemos observar, esta espantosa evolução dos dispositivos de comunicação trouxe indiscutíveis benefícios para a vida moderna. Infelizmente estes vieram acompanhado de riscos e males à humanidade.

“Com o crescimento das cidades, as subestações e as linhas de transmissão de alta tensão, que antes ficavam distantes dos centros populacionais, estão hoje muito próximas das edificações urbanas. Por outro lado, o desenvolvimento da indústria electrónica e das comunicações provocou a presença de campos eletromagnéticos em todos os ambientes. Isto é, pessoas, casas, edifícios, prédios comerciais e industriais estão sujeitos a irradiações eletromagnéticas provenientes das linhas de transmissão de alta tensão, quando construídos nas proximidades.” [10]

Esta exposição constante à radiação eletromagnética e seus efeitos aparentemente nocivos é vulgarmente denominada de “*electrosmog*”, “*eletricidade suja*” ou apenas poluição eletromagnética, cujo significado será apresentado ao longo deste capítulo, que explica o que são as radiações eletromagnéticas e como elas podem ser prejudiciais à saúde dos seres humanos.

2.1 Campos eletromagnéticos

Podemos definir os campos eletromagnéticos de uma forma muito simples, utilizando o conceito atribuído por Ulaby em [9]:

“Os campos elétrico e magnético permanecem separados e independentes, enquanto são estáticos. Entretanto, ao se associarem tornam-se dinâmicos, um par indissolúvel, assim como um casal que dança tango. De fato, um campo elétrico variante no tempo induz um campo magnético variante no tempo e vice-versa.”

Segundo [11], uma onda eletromagnética (OEM) consiste na oscilação mútua e perpendicular do campo elétrico e do campo magnético, viajando numa mesma fase, como podemos observar na figura abaixo.

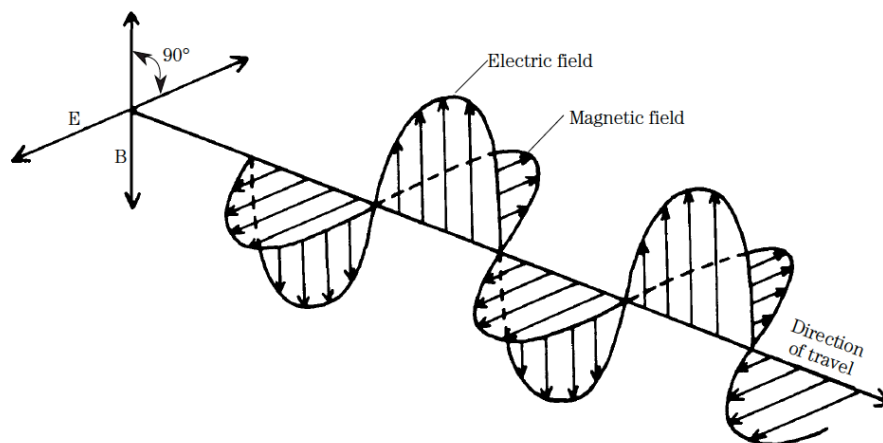


Figura 1 - Esquema de uma onda eletromagnética [fonte: 11]

Podemos diferenciar as OEM pelo seu próprio comprimento de onda (λ) ou pela sua própria frequência de oscilação (f), grandezas que estão relacionadas entre si segundo a expressão:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Onde:

c = velocidade da propagação no vácuo ($\approx 3 \times 10^8$ m/s)

f = frequência (Hz)

λ = comprimento de onda

2.2 Espectro eletromagnético

No seguimento o ponto anterior, podemos definir como **espectro eletromagnético** a escala de todas as gamas de intensidade de radiação em função do λ ou da f .

Observando a figura abaixo, a qual ilustra o espectro eletromagnético e as aplicações para as diferentes gamas, da esquerda para a direita, encontraremos primeiro os menores comprimentos de onda. Nesta faixa situam-se os raios gama, x e ultravioleta. No outro extremo do espectro, estão as faixas de frequência das ondas de rádio, as micro-ondas e os raios infravermelhos. Entre os dois extremos está a luz visível [9].

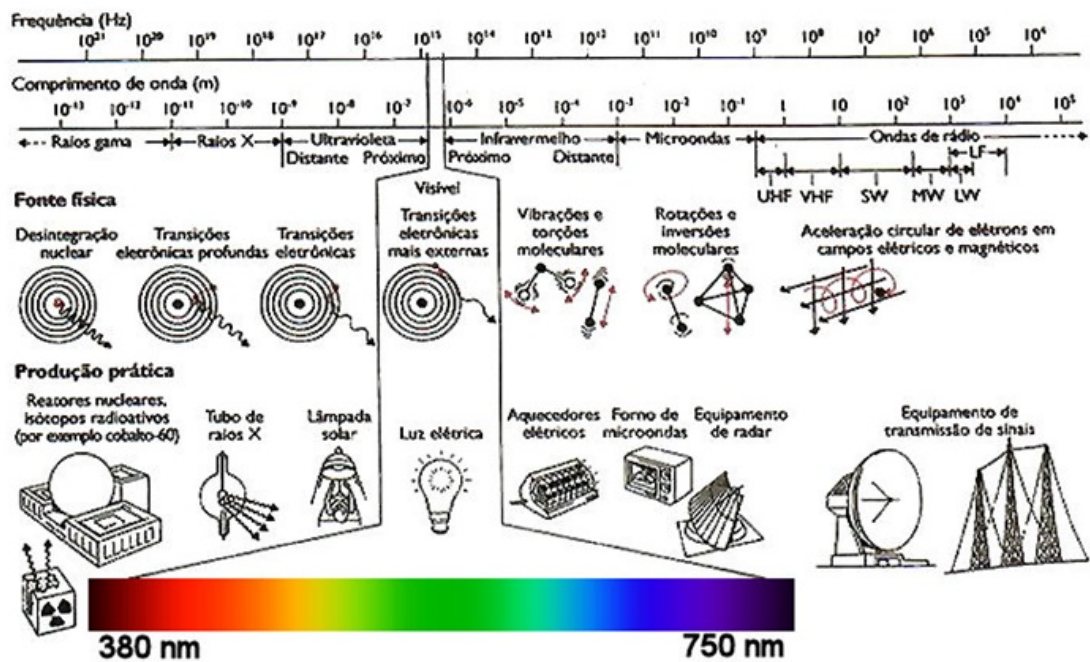


Figura 2 - Espectro eletromagnético e a relação entre as diversas radiações, o modo como são produzidas e as suas aplicações ou produção prática. [fonte: Blog de Ciência]

2.2.1 Radiações ionizantes e não ionizantes

No espectro eletromagnético, além da divisão das gamas de frequência, podemos dividir as radiações em dois grupos: as radiações ionizantes e as não-ionizantes [12].

- Radiações Ionizantes: São aquelas que alteram a estrutura da matéria, neste grupo está a gama das baixas frequências, compreendidas entre 10^{16} e 10^{22} Hz;
- Radiações Não-Ionizantes: São aquelas que não alteram a estrutura da matéria, neste grupo estão os níveis de frequência de 0 a 300GHz.

É neste grupo das radiações não-ionizantes que encontramos os CEM que podem causar danos à saúde, como vamos relatar na subseção a seguir.

2.3 Breve relato dos problemas de saúde apresentados pela exposição crônica aos CEM

“O ambiente eletromagnético natural da terra não inclui componentes significativas nem de radiações de RF (30 kHz-300 MHz), nem de micro-ondas (300-3000 GHz). Por outro lado, a explosão de estações de difusão de rádio e televisão, redes radiotelefônicas, telefones sem fio e telefonia celular produziu uma densidade de energia no meio ambiente global, cerca de milhões de vezes mais elevada do que a densidade de energia eletromagnética natural, produzida por tempestades tropicais e pela energia solar.” [12]

O desenvolvimento e a tecnologia trouxeram consigo contrapontos evidentes, nomeadamente a poluição eletromagnética que está causando grande preocupação em virtude dos danos à saúde que podem ocorrer devido à constante exposição aos campos eletromagnéticos (CEM) [13].

O Dr. Samuel Milham em [2], explica que este recente aumento explosivo na radiação de RF, especialmente em áreas urbanas, podia ter constituído uma epidemia do século XX, e que no século XXI já se poderá observar uma epidemia de morbidez e mortalidade em curso, causada pelos CEM de alta frequência (HF).

Os seres humanos são compostos por um complexo mecanismo biológico, aos quais podemos chamar de sistemas bio-elétricos; do ponto de vista elétrico, o corpo humano exhibe estruturas de alta condutividade iónica e eletrónica, como as redes neurais, o líquido cefalorraquidiano e até mesmo os fluidos sanguíneos.

“Um organismo vivo é um complexo heterogéneo de tecidos biológicos, com propriedades condutoras, dielétricas e térmicas bastante dissimilares (...)” [12]

Segundo [14], os tecidos biológicos que compõem os seres humanos são caracterizados pela sua permitividade relativa (ϵ_r)⁴ e condutividade elétrica (σ)⁵. Por essas características, expressas na figura abaixo, pode-se afirmar que nas frequências de 900 MHz e 1,9 GHz, o corpo funciona como boa antena receptora para absorção da radiação eletromagnética.

Tecidos	900 MHz		1.9 GHz		$\rho_t (kg / m^3)$
	ϵ_r	$\sigma (S / m)$	ϵ_r	$\sigma (S / m)$	
Cérebro	55.0	1.23	47.0	1.42	1030
Músculo	58.5	1.21	56.0	1.76	1040
Osso	8.0	0.105	8.0	0.15	1850
Líquido	79.1	2.14	72.0	2.5	1000
Pele	34.5	0.60	32.0	0.57	1100

Figura 3 - Tabela das propriedades dos materiais biológicos. [fonte: [14]]

Para além disso, absorvemos a radiação eletromagnética devido à posição vertical na qual andamos. O grau de absorção desta radiação depende da combinação de dois fatores: dimensões físicas do corpo humano e comprimento de onda da radiação lançada no espaço livre [14].

⁴ Características explicadas no capítulo 5.

⁵ Características explicadas no capítulo 5.

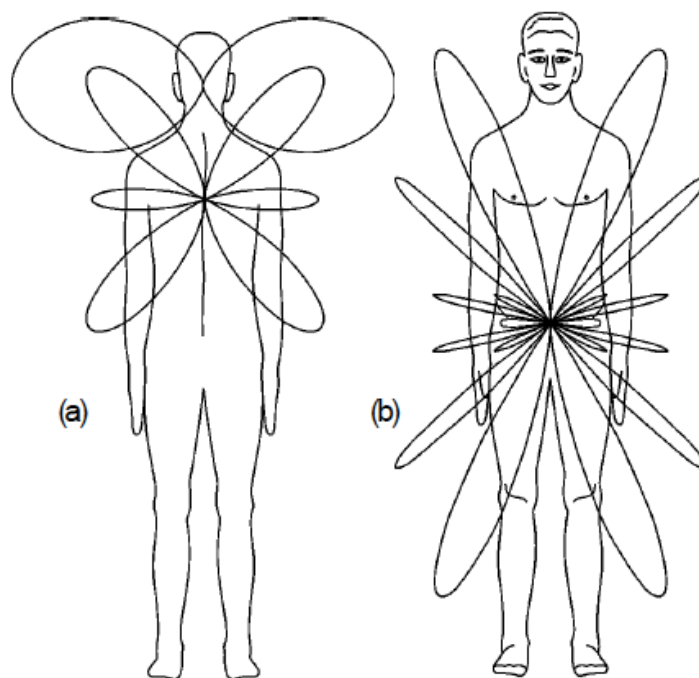


Figura 4 - (a-b) Lóbulos de absorção de um ser humano na frequência de 825 MHz. (a) demonstra o sistema nervoso central (líquido cefalorraquiano) e a caixa craniana; (b) sistema circulatório (veias e artérias) ou o sistema linfático, como antenas. [fonte: 15]]

Segundo [15], o nosso cérebro e coração são internamente regulados por débeis sinais elétricos, fazendo com que a constante exposição às radiações dos campos eletromagnéticos tenha uma interação com o nosso processo biológico, provocando sérias alterações. Além disso, como nos explica [1]:

“(...) se houver coincidência da frequência de radiação absorvida com alguma frequência de vibração própria de algum órgão, tecido, ou fluído do organismo humano, os resultados podem ser catastróficos (...)”.

As patologias decorrentes da relação entre CEM e o corpo humano podem ser classificadas em dois contextos diferentes: efeitos térmicos e efeitos não-térmicos.

2.3.1 Efeitos térmicos

“Os efeitos térmicos são aqueles causados por um aquecimento direto dos tecidos biológicos como resultado da absorção da energia eletromagnética num meio dissipativo ou com perdas, isto é, nos meios dielétricos onde a permitividade (ou constante dielétrica) apresenta uma parte imaginária maior que zero.” [16]

Após a absorção das radiações eletromagnéticas, diversos mecanismos de bio-regulação serão influenciados, alterando as atividades celulares, a temperatura corporal e

até mesmo as taxas hormonais. Dentre estas alterações, podemos considerar a hipertermia, elevada temperatura do corpo, a mais comum.

As micro-ondas, depois de absorvidas pelo organismo, causam um aquecimento heterogêneo do corpo humano. Este aquecimento varia conforme as taxas de absorção específica (TAE) que cada órgão e tecido possui. Além da TAE, cada um destes órgãos possui um mecanismo diferente da termorregulação, sendo o principal a circulação sanguínea [17].

“O aumento da temperatura induz a vasodilatação o que permite um maior volume de sangue irrigado na área atingida. Órgãos de extrema importância, como por exemplo as glândulas e os neurónios, são fácil e irrecuperavelmente danificados com o aumento da temperatura. Este é um dos motivos pelo qual o cérebro é irrigado com um volume extremamente grande de sangue.” [17]

2.3.1 Efeitos não-térmicos

Para além da hipertermia, a exposição constante aos CEM pode desencadear outras patologias, as quais estão enquadradas nos efeitos não-térmicos da REM.

“Os efeitos “não térmicos” são, por exemplo, efeitos bioquímicos ou eletrofísicos causados diretamente pelos campos eletromagnéticos induzidos, e não diretamente por um aumento localizado ou distribuído de temperatura.” [16]

Como as radiações do CEM são genotóxicas e podem causar a alteração do DNA de células fragilizadas, este efeito combinado com uma deficiência do sistema imunológico pode resultar em doenças graves como o cancro ([17]-[18]).

Como podemos ainda observar em [17], o constante uso de telefone móvel próximo da cabeça, certamente acarretará consequências maiores na região do cérebro e do nervo da mão que habitualmente segura o aparelho, do que em relação a outras partes do corpo. Um estudo realizado na Universidade da Califórnia [19], mostra que, entre 48% a 68% da radiação emitida pelo telefone móvel é absorvida pela mão ou cabeça do utilizador quando a antena deste mesmo aparelho está a 2cm de distância.

Na continuação das investigações, um outro estudo realizado na Suécia na Universidade de Lund [20], submeteu ratos a uma exposição diária de 2 horas às radiações do telemóvel, em dosagens abaixo das consideradas seguras pelas empresas de telefonia. Após 50 dias de teste, observaram como resultado que os ratos tinham significantes hemorragias cerebrais e apresentavam alguns encolhimentos da massa encefálica diretamente ligados com danos neurais.

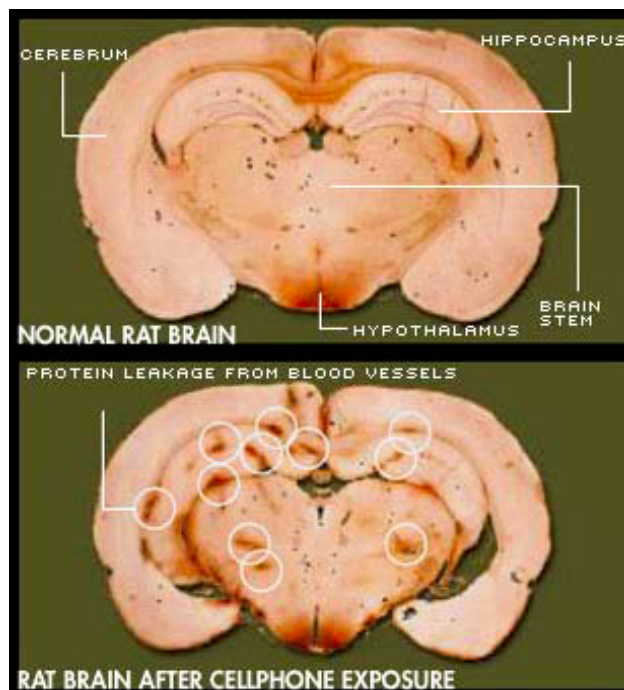


Figura 5 - Comparação entre seções histológicas do cérebro dos ratos (com e sem radiação). [fonte: [20]]

Para além desta preocupação com a exposição das pessoas que estão a falar ao telemóvel⁶, é importante destacar que a grande maioria delas guarda os seus aparelhos em bolsos que ficam próximos à cintura. Mesmo que este não esteja sendo utilizado, ele continua a emitir radiações⁷ para comunicar com a estação de rádio base (ERB), fazendo com que esta radiação atinja importantes órgãos, como para os homens os testículos e a próstata e para as mulheres, os ovários e o útero, e para ambos o fígado e os rins.

Devemos observar também que crianças e adultos podem também utilizar próteses, válvulas e *pace-maker*, que funcionam como boas antenas absorvedoras de radiação. Devido a este fato, alguns tipos de válvulas, como as que são usadas no controle da hidrocefalia, podem ter interrupções no seu funcionamento devido a interferências das ondas eletromagnéticas. Já os *pace-maker*, apesar de terem um dispositivo de blindagem contra estas interferências, a mesma não pode ser completa devido às próprias características do aparelho. Além das válvulas e dos *pace-maker* ainda devemos considerar os riscos em próteses metálicas, as quais interagem com a radiação eletromagnética podendo induzir a rejeição das mesmas devido a processos eletro-bioquímicos [17].

Além destas conhecidas patologias, foi recentemente descoberto outro fenómeno que está afetando a saúde das pessoas mais sensíveis, a chamada Eletrosensibilidade (ES ou EHS).

⁶ Quando se estabelece a ligação, o valor da radiação atinge facilmente mais do que 20.000 μ W/m² [15].

⁷ Na ordem dos 2 a 4 μ W/m². Nos modernos smartphones, este valor decai para cerca de 50% menos radiação [15].

Esta, aumenta exponencialmente através dos anos, podendo atingir 50% da população mundial até 2017, como explicado em [2].

A ES apresenta sintomas que podem variar consoante a natureza da pessoa mas, segundo [15] os mais relatados em pesquisas são: problemas com sono, problemas de pele, falta de concentração e memória, tonturas e fadiga, dificuldade de respirar, problemas cardíacos, depressão, problemas digestivos, problemas de audição e com os olhos, dores de cabeça e intolerância à luz.

O Dr. George Carlo, do projeto sem fins lucrativos *Safe Wireless Initiative - UK* [15] em Washington D.C., acredita que as células humanas são capazes de reconhecer as ondas eletromagnéticas emitidas pelos telefones móveis como uma forma de ataque, fazendo com que elas criem um sistema de defesa no qual bloqueiam a entrada de nutrientes. Este fato pode explicar as queixas de dores de cabeça e doenças neurológicas de moradores próximos a zonas com estações de rádio-base (ERB).

Ainda sobre este assunto, o neurofisiologista e professor da Universidade Federal de Minas Gerais, Fernando Pimentel de Souza, afirma em uma entrevista à revista brasileira *Veja* [18], que estes mesmos efeitos ainda podem aparecer em moradores próximos às redes de alta tensão:

“Dependendo da proximidade, as ondas podem interferir na sinapse dos neurônios e afetar o raciocínio e a coordenação motora”.

No ano de 2009, o Parlamento Europeu reconheceu a ES na resolução de 2 de Abril do mesmo ano, no artigo 28, onde diziam que:

“Os Estados Membro devem seguir o exemplo da Suécia e reconhecer que pessoas que sofram de ES ou EHS, sejam reconhecidas como portadoras de incapacidade, garantindo-lhes proteção adequada e igualdade de oportunidades”. [21]

Com isso, no final do ano de 2011, a Espanha, numa ação pioneira, concedeu a reforma completa a uma trabalhadora portadora de ES.

Apesar de todas as patologias e estudos aqui apresentados, em cerca destes 30 anos de pesquisas e discussões sobre as influências dos CEM na saúde e, embora já haja evidências experimentais sobre as alterações no organismo causadas pela exposição excessiva à RF, ainda não foi possível chegar a nenhum consenso ou afirmação sobre os possíveis efeitos.

Ainda prevalece a incerteza quanto à identificação e caracterização dos danos permanentes que estas exposições podem causar nos tecidos biológicos. A única coisa que podemos realmente concluir e afirmar é a preocupação das autoridades mundiais, dos meios científicos, da comunidade médica e da população em geral a respeito deste assunto, sobre o qual a Organização Mundial da Saúde (OMS) afirma que:

“É necessário esclarecer cientificamente os possíveis efeitos sobre a saúde da exposição a campos elétricos e magnéticos estáticos e variáveis no tempo. Os campos eletromagnéticos

(CEM) de todas as frequências constituem uma das influências ambientais mais comum e de crescimento mais rápido sobre as quais existe uma crescente ansiedade e especulação. Hoje em dia, todas as populações do mundo estão expostas a CEM em maior ou menor grau, e conforme avança a tecnologia, o grau de exposição continuará crescendo. Por isso, um pequeno efeito na saúde relativo à exposição a CEM poderá produzir um grande impacto na saúde pública”. [1]

2.4 Normas de exposição aos CEM

Na normativa portuguesa, podemos encontrar as restrições básicas para a exposição aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos numa gama de 0 a 300 GHz na Portaria n.º 1421/2004 de 23 de Novembro de 2004. Nesta procura-se a prevenção de diferentes patologias para as diferentes restrições básicas, como se explica no trecho a seguir:

“Entre 0 Hz e 1 Hz prescrevem-se restrições básicas para a densidade do fluxo magnético de campos magnéticos estáticos (0 Hz) e para a densidade de corrente dos campos variáveis no tempo até 1 Hz, a fim de prevenir efeitos sobre o aparelho cardiovascular e o sistema nervoso central;

Entre 1 Hz e 10 MHz prescrevem-se restrições básicas para a densidade de corrente, a fim de prevenir efeitos sobre as funções do sistema nervoso;

Entre 100 kHz e 10 GHz prescrevem-se restrições básicas para a SAR⁸ fim de prevenir o stress térmico em todo o corpo e um aquecimento localizado excessivo dos tecidos. Na gama de 100 kHz a 10 MHz prescrevem-se restrições tanto para a densidade de corrente como para a SAR;

Entre 10 GHz e 300 GHz prescrevem-se restrições básicas para a densidade de potência, a fim de prevenir o aquecimento dos tecidos à superfície do corpo ou próximo dela.” [22]

Gama de frequências	Densidade de fluxo magnético, B (mT)	Densidade de corrente, J (mA/m ²) (valor eficaz)	SAR média para todo o corpo (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)	SAR localizada (membros) (W/kg)	Densidade de potência, S (W/m ²)
0 Hz	40	–	–	–	–	–
> 0Hz-1 Hz	–	8	–	–	–	–
1 Hz-4 Hz	–	$8/f$	–	–	–	–
4 Hz-1000 Hz	–	2	–	–	–	–
1000 Hz-100 kHz	–	$f/500$	–	–	–	–
100 kHz-10 MHz	–	$f/500$	0,08	2	4	–
10 MHz-10 GHz	–	–	0,08	2	4	–
10 GHz-300 GHz	–	–	–	–	–	10

Figura 6 - Restrições básicas para campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0Hz-300GHz). [fonte: [22]]

Para uma melhor compreensão, a mesma Portaria indica níveis de referência para ajudar que restrições básicas sejam cumpridas. Estes níveis só poderão ser aplicados quando o

⁸ Taxa de absorção específica de energia. Define-se como o ritmo que a energia é absorvida por unidade de tecido biológico e é expressa em watt por quilograma (W/kg) [22].

corpo humano for uniformemente exposto à radiação, não valendo assim para exposições localizadas como no caso do uso do aparelho de telemóvel.

Gama de frequência	Intensidade do campo, E (V/m)	Intensidade do campo, H (A/m)	Intensidade do campo, B (μ T)	Densidade de potência equivalente de onda plana S_{eq} (W/m ²)
0 Hz-1 Hz	–	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	–
1 Hz-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 f^2$	$4 \times 10^4 f^2$	–
8 Hz-25 Hz	10 000	$4\,000/f$	$5\,000/f$	–
0,025 kHz-0,8kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	–
0,8 kHz-3 kHz	$250/f$	5	6,25	–
3 kHz-150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 MHz-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	–
1 MHz-10 MHz	$87f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	–
10 MHz-400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 MHz-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Figura 7 - Níveis de referência para campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos (0Hz - 300GHz, valores eficazes não perturbados). [fonte: [22]]

Capítulo 3

Design e tecnologia

“As roupas têm evoluído para cumprir uma série de requisitos práticos e de proteção. O meio ambiente é cheio de perigos, e o corpo precisa ser mantido numa temperatura média para garantir o conforto e a circulação sanguínea. O homem do campo precisa de se refrescar, e o pescador precisa de ficar seco; o bombeiro precisa de proteção contra as chamas, e o mineiro contra gases tóxicos. Os reformadores do vestuário têm geralmente colocado a utilidade acima das considerações estéticas.” [23]

Seguindo a história do design, podemos dizer que esta priorização da funcionalidade no vestuário da qual nos fala Sue Jenkyn Jones, teve início juntamente com as ambições do modernismo. Com este movimento, veio uma reação contra os objetos de pouca relevância. Os designers desta época, inspirados pela teoria estética da Bauhaus⁹, “a forma segue a função” [24], passaram a ser instigados para “desenhar o uso dos objetos” [25].

Com o mesmo princípio bauhauseano, Ezio Manzini em [4], explica que o criador deve responder às questões de responsabilidade, dando um contributo positivo para a construção de um mundo habitável. Tendo em conta esta forma de pensar e assumindo o conceito de que a roupa é a interface entre o utente e o meio onde ele se encontra [5], os designers atuais impulsionados pelos anseios dos consumidores preocupados com o presente cenário mundial, descrito no capítulo anterior, começam a interessarem-se por transformar a arte da moda em desenvolvimento científico. Desta forma, os projetos de moda passaram a integrar uma gama de requisitos como função, performance, proteção e conforto, além de agregar valores atentando questões de funcionalidade, ergonomia e facilidade de uso [7].

Perante esta enorme demanda, as novas criações integram química orgânica, nano tecnologia e eletricidade com a moda, desenvolvendo projetos de carácter inovador, onde buscam alternativas que possibilitem recarregar dispositivos com energia renovável, causando menos impacto no meio ambiente, constroem roupas que possam gerar eletricidade, limpar o ar, ou até mesmo desenvolvem novos artefatos para a proteção da saúde dos seres humanos.

Assim, podemos dizer que a presente geração de designers se adapta a um novo processo de criação para atender a este novo mercado, pensando antes de iniciar qualquer desenvolvimento, quais são as reais expectativas dos consumidores, como nos explica Bryan Lawson:

⁹ A Bauhaus foi a primeira escola de design do mundo e uma das maiores e mais importantes referências do movimento modernista. Funcionou na Alemanha entre 1919 e 1933 [Wikipédia].

“They have to learn to understand problems that other people may find it hard to describe and create good solutions for them. Such work requires more than just a ‘feeling’ for materials, forms, shapes or colours; it requires a wide range of skills.” [26]

Além disso, estes criadores de moda também passam a dar um sentido real aos seus produtos, unindo conhecimento e criatividade que, segundo Castro em [27], são os principais critérios para projetos inovadores.

Essa nova maneira de pensar sobre a construção do vestuário também pode ser chamada de *“Fashionable wearables”*, que é o ato de criar novas peças ou acessórios de moda que combinem a estética e o estilo com a tecnologia funcional [6]. Desta forma, o que vestimos passa a ter um novo conceito explicado por Sabine Seymour:

“As designers of fashionable wearables, we view end users as fashionable beings who are attentive to style and the powerful potential of wearable technologies. Our design philosophy is based on the notion that garments are the immediate interface to the environment and thus are a constant transmitter and receiver of emotions, experiences, and meaning.” [6]

Interpretando a atual demanda do “desejo tecnológico” dos consumidores de moda e, agregando a preocupação com os riscos para a saúde devido à poluição eletromagnética, surgem duas novas vertentes para guiar o processo de criação de novos produtos *“Fashionable wearables”*. Nas subseções a seguir, relataremos o estado da arte destas vertentes, que nos auxiliará a entender melhor a proposta desta dissertação:

- Vestuário de proteção: projetos relacionados com a *electrosmog*;
- Vestuário inteligente: projetos funcionais que envolvam a recolha de energia ambiente.

3.1 Vestuário de proteção

Como mostrado anteriormente, muitas dúvidas ainda persistem no assunto da influência dos CEM na vida dos seres humanos. Assim, têm surgido ao longo dos últimos anos projetos relacionados com a *electrosmog*, ora em caráter artístico/experimental, ora em caráter funcional/comercial. Seja qual for o âmbito, o importante aqui é destacar estas novas concepções que, de uma forma inovadora e criativa, servem para alertar ou prevenir, a população deste inimigo invisível.

3.1.1 Projetos artísticos/experimentais

Intitulado *“Taiknam Hat”*, este é o projeto mais inusitado relacionado com a poluição eletromagnética. Em 2008 Ebru Kurbak, Ricardo Nascimento e Fabiana Shizue, em parceria

com *Ogaki Japan* e a *University of Arts and Industrial Design* da Àustria, criam este chapéu cinético que reage com as mudanças dos níveis das radiações eletromagnéticas [6].

Sensores verificam constantemente a existência de ondas eletromagnéticas (OEM), enviando a informação em tempo real a um microcomputador que ativa um motor integrado na estrutura mecânica do chapéu, fazendo com que as penas que enfeitam o mesmo se movimentem [28].



Figura 8 - "Taiknam Hat". [fonte: [6]]

Em 2010, um dos mesmos autores do projeto anterior, Ricardo Nascimento, em parceria com Thiago Hersan desenvolveu um vestido inspirando no Orixá Iansã, do candomblé brasileiro, um vestido denominado e-ansã. Este vestido desfruta de um sistema muito semelhante ao anterior: 4 antenas verificam constantemente as ondas emitidas pelos telemóveis na atmosfera e enviam em tempo real a informação a um microcomputador que ativa 110 micro-ventiladores (os mesmos que são utilizados nos computadores), criando um efeito de “roupa ao vento” no vestido [29].

Ambos experimentos são uma forma de materializar o espaço imaterial das ondas eletromagnéticas, com o simples objetivo de sensibilizar a consciência social para o aumento da *electrosmog*.



(a)



(b)

Figura 9 - Projeto e-ansã (a) demonstrando o movimento do vestido quando capta as ondas eletromagnéticas emitidas pelo telemóvel e (b) estrutura do vestido. [fonte: 29]]

3.1.2 Projetos funcionais/comerciais

Em 1995 o designer Koji Hamai desenvolveu dois casacos inovadores para a época, utilizando têxteis inteligentes. “*Gradation*” é feita de um tecido 100% poliéster revestido em ambos os lados com uma fina camada de titânio. Já o “*Dry fish*” é uma peça futurista e é feito a partir de um não-tecido 100% poliéster, revestido com uma fina camada de aço inoxidável. Ambas as peças além da proteção contra as OEM, permitem a respirabilidade da pele e ainda protegem o utente dos raios ultravioleta (UV) e infravermelhos, fornecendo também isolamento térmico [30].



(a)



(b)

Figura 10 - Projetos do designer Koji Hamai (a) "Gradation" e (b) "Dry fish". [fonte: [30]]

Recentemente, o designer de inovação Vito di Bari, criando soluções futuristas para a MilanExpo 2015, desenvolveu o O2 Pram, que é o único carrinho de bebé capaz de proteger as crianças contra os altos níveis de poluição ambiental. Desenvolvido com um fino tecido barreira anti-eletromagnetismo, este carrinho bloqueia todos os campos de ondas eletromagnéticas. A fim de ajudar os pais a determinarem se um ambiente é seguro para o bebé, o O2 Pram tem um visor eletrónico que averte para os perigos invisíveis.

Quando os níveis de poluição excessiva são detectados, um indicador avisa para fechar a tampa do carro, que é feita de tecido transparente que protege contra os raios UV, e então fornece uma notificação quando o ambiente interno dele está limpo. O tecido do interior do O2 Pram deve ser lavado ocasionalmente, mas os medidores da quantidade de poluição absorvida notificam aos pais quando é o momento para a próxima lavagem. [31]



Figura 11 - Diferente gama de tecidos do "O2 Pram". [fonte: [31]]

Outra referência em vestuário de proteção é a empresa ElectroSmogShielding¹⁰, que desenvolve diferentes tipos de peças comerciais de blindagem eletromagnética. Em especial, esta empresa possui um vestido para grávidas, feito com tecido composto de 34% poliéster, 41% algodão penteado e 25% fibra de metal, esta última para fazer a alta blindagem, protegendo a grávida de 98% das OEM prejudiciais. Este artigo não contém resistência à lavagem [32]. Os produtos desta empresa mostram grande eficiência de proteção mas precisam ainda de desenvolvimento de design.

Seguindo esse exemplo mas, inovando no design, as grandes marcas também começam a incorporar nas suas coleções peças funcionais. A exemplo disto, a Diesel lançou em 2010 um modelo de calça jeans em denim composto de 1% de carbono e 99% de algodão apresentadas, entre outras características, como sendo protetoras das ondas eletromagnéticas de computadores e telemóveis [33].

¹⁰ É o distribuidor no Reino Unido dos Produtos YShield, especializada no varejo de artigos para proteger os seres humanos e outros equipamentos de alta tecnologia sensível à radiação eletromagnética.



(a)



(b)

Figura 12 - Projetos comerciais (a) vestido protetor de radiações para grávidas [fonte: ElectroSmogShielding] e (b) calças Diesel/Lapo [fonte: Guia Jeans Wear]

3.2 Vestuário Inteligente

A crescente preocupação com o meio ambiente fez com que a comunidade científica começasse a pensar em novas alternativas para fontes de alimentação de circuitos eletrônicos, resolvendo assim o problema associado às baterias existentes no mercado. Estas, além de possuírem um baixo ciclo de vida, ainda levantam problemas ambientais relativos ao depósito das mesmas após o seu uso.

Sendo assim, surge uma nova tecnologia no mercado denominada “*energy harvesting*”. Esta, também conhecida como “recolha de energia do ambiente” é a capacidade que alguns dispositivos têm de recolher energias dispersas no meio ambiente. Estas energias recolhidas podem ser das mais variadas fontes, sendo exemplo disso a vibração ou energia mecânica, eletromagnética, termoelétrica, micro fluxo de água, solar, eólica e biológica.

O importante aqui não é exatamente qual a energia utilizada, mas sim a capacidade dos dispositivos “se auto alimentarem”. As aplicações são em diversos tipos de projetos, desde acessórios de moda até roupas funcionais que monitorizam sinais vitais.

Em 2007, a estudante Elena Corchero criou em parceria com Crispin Jones, uma coleção de acessórios denominada “Solar Vintage”. Os produtos desenvolvidos (leques, colares, pulseiras,

chapéus-de-chuva, e etc...) possuíam células fotovoltaicas flexíveis e orgânicas¹¹, que alimentavam uma série de LED's. Durante o dia estes artefatos exerciam a sua função habitual e à noite serviam de luzes decorativas para a casa, utilizando a energia solar armazenada. Os componentes eletrônicos foram integrados diretamente no têxtil recorrendo a bordados feitos com fios condutores [6].



Figura 13 - Leque da coleção Solar Vintage [fonte: [6]]

Em 2008 [34], o designer Sang-Kyun Park em parceria com a Yanko Design criou um chapéu-de-chuva um pouco diferente. Chamado de “*LightDrop’s*”, este acessório feito a partir de um tecido de polivinilideno (PDVF), uma membrana condutora que acende LED’s, transforma a energia potencial das gotas de chuva que fluem na superfície do chapéu-de-chuva em energia elétrica que alimenta os LED’s embutidos. Assim, a luminosidade do guarda-chuva varia em função da intensidade da chuva. [34]

¹¹ Não fabricada à base de silício.



Figura 14 - Light Drops Umbrella [fonte: Yanko Design]

Os materiais piezoelétricos também são uma novidade com diversas aplicações a serem exploradas. Em 2011 [35] a operadora telefônica francesa - Orange - desenvolveu o protótipo de uma t-shirt para captar e transformar ondas sonoras em cargas elétricas, que usa um filme piezoelétrico como microfone. Chamada de “*Sound Charge*”, esta t-shirt utiliza a energia recolhida para carregar telemóveis e, segundo os seus criadores, esta tecnologia, para além de poder mudar o carregamento dos dispositivos móveis, pode influenciar as tendências de moda, fazendo com que designers passem a integrar este tipo de soluções inteligentes nas suas peças.



Figura 15 - Sound Charge [fonte: Tech Cocktail]

Também no corrente ano 2012 a revista brasileira Galileu [36], publicou uma reportagem intitulada “Como vão ser suas roupas no futuro”, fazendo uma rápida abordagem sobre diversos projetos de moda tecnológica, dentre eles, o chamado “The Solar Soldier”. Este é um projeto do Reino Unido que se baseia em roupa com propriedades termoelétricas e fotovoltaicas para gerar energia através do calor humano. Esta roupa pode fornecer energia contínua para rádios e GPS.



Figura 16 - The Solar Soldier [fonte: ABC News]

Capítulo 4

Antenas flexíveis

“Particularly in the design of electronic appliances, interactive systems and computational things, there has been an increased interest in ‘experience design’ and in designing the ‘user experience’”. [25]

Desde a invenção do relógio digital, os dispositivos eletrônicos portáteis tornaram-se parte integrante do cotidiano dos indivíduos. A dependência cada vez maior da moderna tecnologia fez com que o desenvolvimento de sistemas *wearable* tenham sido cada vez mais rápidos.

Por isso, num futuro não muito distante, o ser humano poderá conter sobre si uma gama grande de dispositivos e sensores, embebidos no vestuário. Este é um crescente interesse tanto nos domínios civis como nos militares. No que diz respeito ao domínio civil, além do interesse dos dispositivos de comunicação para a transferência de media de entretenimento, fontes de informações e interação social, há ainda um grande apelo aos sensores médicos que possam manter uma comunicação constante entre utilizador/monitor, ou até mesmo no desporto para controlar os sinais vitais dos atletas. Já no domínio militar, com a miniaturização dos sistemas de monitorização, aumenta o desejo de reduzir a carga sobre os militares, facilitando a sua movimentação.

A nova geração de peças de vestuário que será capaz de realizar esta monitorização contínua, requer uma antena que possa ser discretamente integrada na roupa, sem perturbar o movimento do utilizador ([32]-[33]). Sendo assim, as antenas vestíveis significam o elo de ligação para tornar a roupa parte integrante das propostas de comunicação, uma vez que os aparelhos eletrônicos fazem parte da rotina das pessoas.

4.1 Parâmetros gerais das antenas *patch microstrip*

Para a obtenção de bons resultados, as antenas vestíveis precisam ser finas, leves, de fácil manutenção e integração nos circuitos RF, robustas, e além disso, devem ser de baixo custo de fabricação e, respectivamente de comercialização ([39]-[40]-[41]). Neste estudo, vamos focar as antenas planares tipo *patch microstrip*, pois além de apresentarem todas estas características, estas antenas ainda são adaptáveis a qualquer superfície e apresentam grande versatilidade de uso.

Estas antenas são geralmente constituídas pela sobreposição de camadas metálicas e dielétricas, como mostrada na figura 17. Portanto uma antena *patch microstrip* flexível requer materiais condutores flexíveis para o *patch* e para o plano de massa e, materiais dielétricos flexíveis para o substrato ([41]-[38]). Além disso, as antenas planares irradiam perpendicularmente ao seu plano de massa, que serve de escudo às radiações, resultando que apenas uma fração muito pequena da radiação emitida é absorvida pelo corpo humano ([41]-[42]).

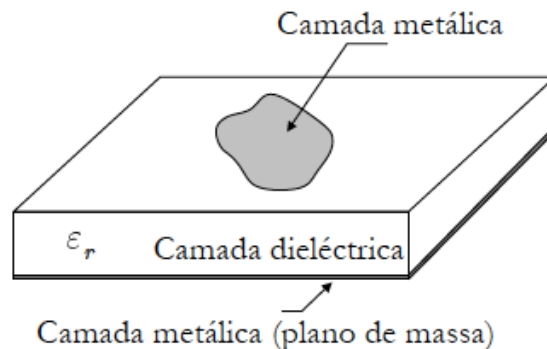


Figura 17 - Esquema de uma antena *patch microstrip* [fonte: 68]]

Podemos ainda dizer que as antenas possuem características básicas, das quais falaremos ao longo desta dissertação, por isso convém aqui definirmos alguns conceitos de cada uma delas, para o melhor entendimento dos capítulos a seguir. Os conceitos aqui apresentados foram todos baseados em [43].

4.1.1 Diretividade

Podemos definir a diretividade de uma antena como sendo a medida da concentração da potência radiada pela mesma em uma determinada direção. Ou seja, pode ser obtida através da razão entre a intensidade de radiação em uma determinada direção e a intensidade de radiação média. Ainda neste parâmetro, quando não especificada a direção da radiação, podemos assumir esta como sendo a direção de máxima intensidade de radiação.

4.1.2 Ganho

A diretividade mede as propriedades direcionais da antena, o ganho calcula o rendimento da radiação emitida. Por este motivo, o ganho e a diretividade estão intimamente relacionados. O ganho pode ainda ser expresso pela razão entre a intensidade de radiação que a antena irradia e a intensidade de radiação que a antena irradiaria se assumíssemos que toda a potencia recebida pela mesma fosse irradiada sem perdas.

Podemos aproveitar para definir já a eficiência como sendo a relação entre o ganho e a directividade. Sendo assim, o ganho é o valor da directividade obtido multiplicado pela eficiência.

4.1.3 Impedância de entrada

É a razão entre a tensão e a corrente de entrada. Geralmente possui uma parte real, associada à potência radiada e à potência dissipada na antena e, uma parte imaginária constituída pela potência reativa armazenada ao redor da antena. Este parâmetro é definido pela geometria e pela forma de alimentação da antena.

4.1.4 Largura de banda

Pode ser definida como sendo o intervalo de frequências na qual, mesmo com a variação de uma ou mais propriedades da antena, a performance da antena continua padrão. No caso das antenas impressas, a largura de banda típica pode ser definida como o conjunto de frequências para as quais o retorno é inferior a um décimo do sinal injetado na antena. Ou seja, significa que são todas as frequências cujo valor do parâmetro S_{11} se encontra abaixo dos -10dB.

Note-se que o parâmetro S_{11} nos ajuda a compreender melhor a largura de banda de uma determinada antena, pois é nele que podemos observar a variação das perdas de retorno da antena. Este parâmetro define a relação entre o sinal que é injetado na antena e o sinal reflectido. A reflexão do sinal injetado ocorre por haver desadaptação de impedâncias, ou seja, quanto maior a desadaptação da impedância, maior será o grau de reflexão e conseqüentemente maior será o parâmetro S_{11} . Sendo assim, é fácil perceber que as perdas de retorno, ou seja o parâmetro S_{11} , atingem um mínimo quando existe uma perfeita adaptação da impedância da antena que ocorre na frequência para a qual a impedância da antena tem um valor real próximo de 50Ω e imaginário de 0Ω .

4.1.5 Frequência de ressonância

A frequência de ressonância de uma antena impressa é determinada pela resposta da impedância da mesma.

4.1.6 Diagrama de radiação

É a representação gráfica das propriedades de radiação (radiação, ganho e eficiência de radiação) em função das coordenadas do espaço. Este ajuda-nos a perceber o

modo com uma determinada antena vai distribuir a sua potência pelo espaço. No caso das antenas *patch microstrip*, o diagrama obtido vai ser direcional, com o máximo de propagação da radiação no sentido do patch condutor e, o mínimo de radiação no sentido do plano de massa, pois este atua como sendo um escudo eletromagnético.

4.2 Tipos de antenas flexíveis: estado da arte

Muitos autores têm proposto antenas têxteis eficientes para a integração em roupa inteligente e para uso junto ou sobre o corpo ([38]-[44]-[45]-[46]-[47]-[48]-[49]).

Em 2001, Pekka Salonen *et al* [44] apresentaram uma Antena Planar F Invertido (PIFA) operando em duas bandas. Esta destinava-se a ser colocada na manga de uma peça de vestuário e operar para as frequências GSM (900MHz) e Bluetooth (2,4 GHz). O material têxtil utilizado não foi especificado.

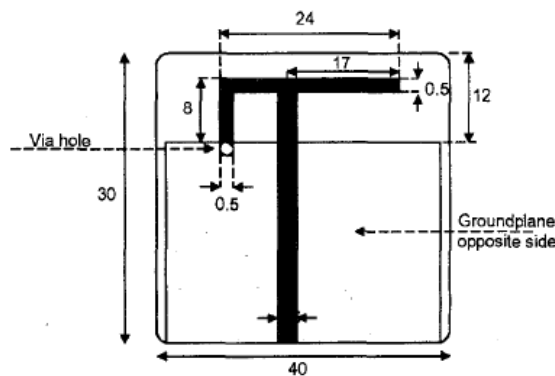


Figura 18 - Geometria e dimensões de uma PIFA para Bluetooth [fonte: [44]]

Em 2003 [47], apresentou uma antena WLAN têxtil (rede de área local sem fio), do tipo *microstrip* retangular, para aplicações comerciais em vestuário inteligente, operando para Bluetooth. As partes condutoras foram feitas de tecido de malha de cobre e o substrato dielétrico era um convencional tecido de lã de muito baixo custo, com 3 mm de espessura.

Continuando o seu estudo, Pekka Salonen *et al* [46] propuseram em 2004 uma antena GPS com polarização circular, em que experimentaram cinco tecidos sintéticos diferentes, como substratos dielétricos. As partes condutoras foram feitas de fita de cobre. Os materiais sintéticos utilizados no substrato dielétrico foram: 1 - *Vellux*®, um tecido de 5 mm de espessura coberto em ambas as superfícies com camadas finas de espuma de plástico, 2 - Feltro sintético, que é um não tecido 4 mm de espessura em que as fibras são mais soltas na superfície do que no centro; 3 - *Delinova 200*®, um tecido forte de fibras de poliamida Cordura® laminado com uma membrana Gore-Tex, com uma densidade de cerca de 370 g/m² e tendo uma espessura de 0,5 mm; 4 - Polar, uma malha de poliéster muito macio com 4 mm de espessura, vulgarmente utilizados em artigos sportswear; 5 - Tecido para estofos,

composto por três camadas de tecidos, resultando em um firme e fino tecido de poliéster e acrílico, com 1,1 mm de espessura (1,1 mm). Entre os tecidos estudados, o *Delinova 200*® foi apontado como o tecido mais interessante para o desenvolvimento da antena flexível, por causa da sua espessura constante e da sua alta resistência. Estas propriedades permitem maior estabilidade das dimensões geométricas da antena.

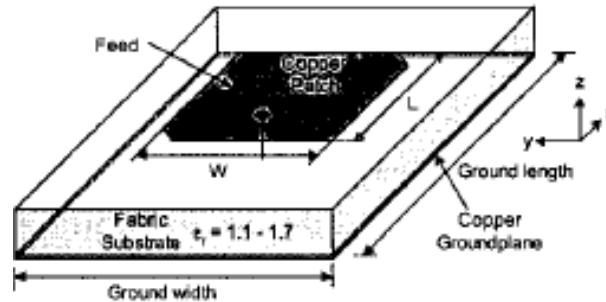


Figura 19 - Geometria de uma antena para GPS com substrato de tecido [fonte: [46]]

Em 2006, Locher *et al* [38], construíram quatro antenas puramente têxteis com alimentação microstrip, para aplicações em Bluetooth, usando uma faixa de frequência em torno de 2,4 GHz. Eles usaram três tecidos condutores: 1) um tecido recoberto com Níquel (com espessura de revestimento cerca de 250 nm aplicados na superfície do tecido), 2) uma malha de prata; 3) um tecido recoberto com uma liga de prata-cobre-níquel. Sendo o tecido 3) o preferido para a construção de antena têxtil com precisão geométrica, por ser tecido e não de malha e pela sua resistência elétrica de superfície ser mais homogênea do que a do tecido 1). Para o substrato dielétrico, eles utilizaram dois tipos de tecidos: 1 - feltro de lã, apresentando uma densidade de 1050 g/m², e uma espessura de 3,5 mm e 2 - malha 3D de poliamida (spancer fabric), de 530 g/m², com uma espessura de 6 mm. O feltro foi dimensionalmente mais estável e mais difícil de dobrar, enquanto que a malha 3D era mais leve e mais elástica.

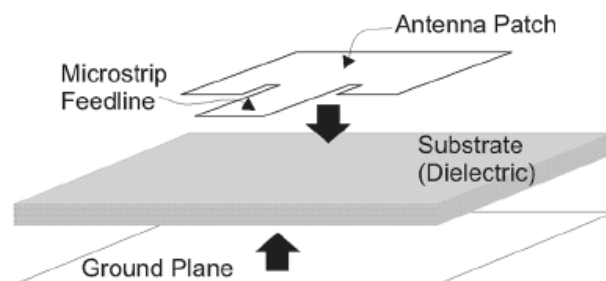


Figura 20 - Composição de uma antena planar *microstrip* [fonte: 38]

No mesmo ano, Tronquo *et al* [50] apresentaram uma Antena de Anel Retangular para redes de sensores em área corporais (BAN), que são circularmente polarizadas abrangendo uma largura de banda de mais de 190 MHz. Para o *patch* e o plano de massa foi usado um tecido condutor chamado *Flectron*®, que é um tecido fino de cobre níquelado com baixa resistência superficial, menor que $0,1 \Omega / \text{sq}$. Para o substrato dielétrico usaram um tecido de lã de 2,56 mm de espessura.

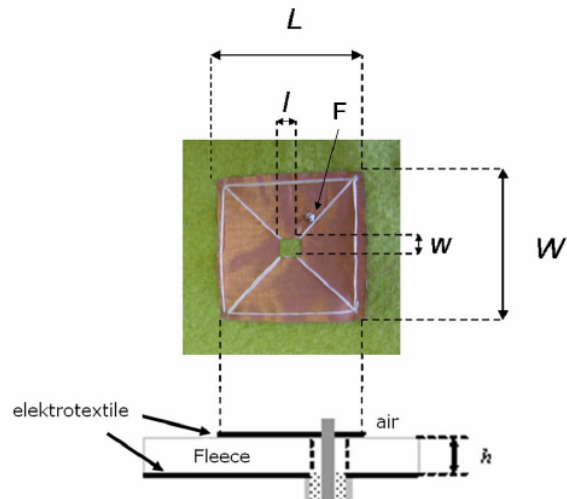


Figura 21 - Geometria de uma Antena de Anel Retangular [fonte: [50]]

Em 2007, Zhu e Langley [48] desenvolveram uma antena coplanar para duas bandas, para operar nas bandas sem fio entre 2,45 e 5,8 GHz. As partes condutoras foram feitas de tecido *Zelt*® enquanto o substrato dielétrico era um feltro fino, com 1,1 mm de espessura.

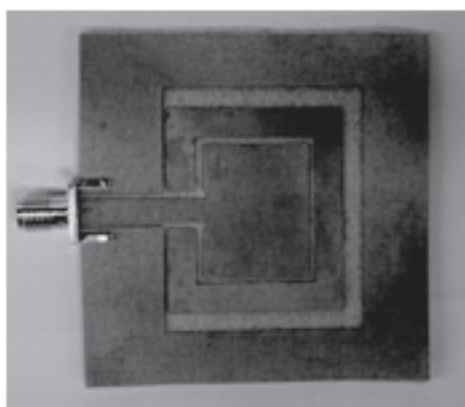


Figura 22 - Geometria de uma antena coplanar para duas bandas [fonte: [48]]

Matthews e Pettitt apresentaram, em 2009 [49], três tipos de antenas integradas no vestuário, uma *Bowtie* de banda larga alimentada por um fio e duas de dipolo em espiral, que operavam em frequências de 100 MHz até 1GHz. Eles testaram diferentes materiais (têxteis e

outros), e técnicas de fabricação. Os materiais condutores experimentados foram: fita condutora, tinta condutora, tecido de nylon condutor (que também é adesivo na face de trás), malha de bronze e fósforo (também adesivo na face de trás), fio condutor, polímero de cristal líquido (LCP) e tecido revestido de cobre. A malha de bronze, o LCP e o tecido de cobre revestido têm a vantagem de as antenas poderem ser diretamente soldadas. Em algumas antenas, uma cola epóxi condutora foi utilizado para ligar os materiais, mas mostrou falta de robustez. Em termos de rádio frequência (RF) e desempenho das antenas concebidas, a antena em espiral, bordada com fio condutor, apresentou pior comportamento do que qualquer outra antena. Em geral, com base no desempenho de RF, os materiais mais atraentes para conceber estas antenas foram os materiais têxteis: o nylon condutor e os tecidos revestidos de cobre.

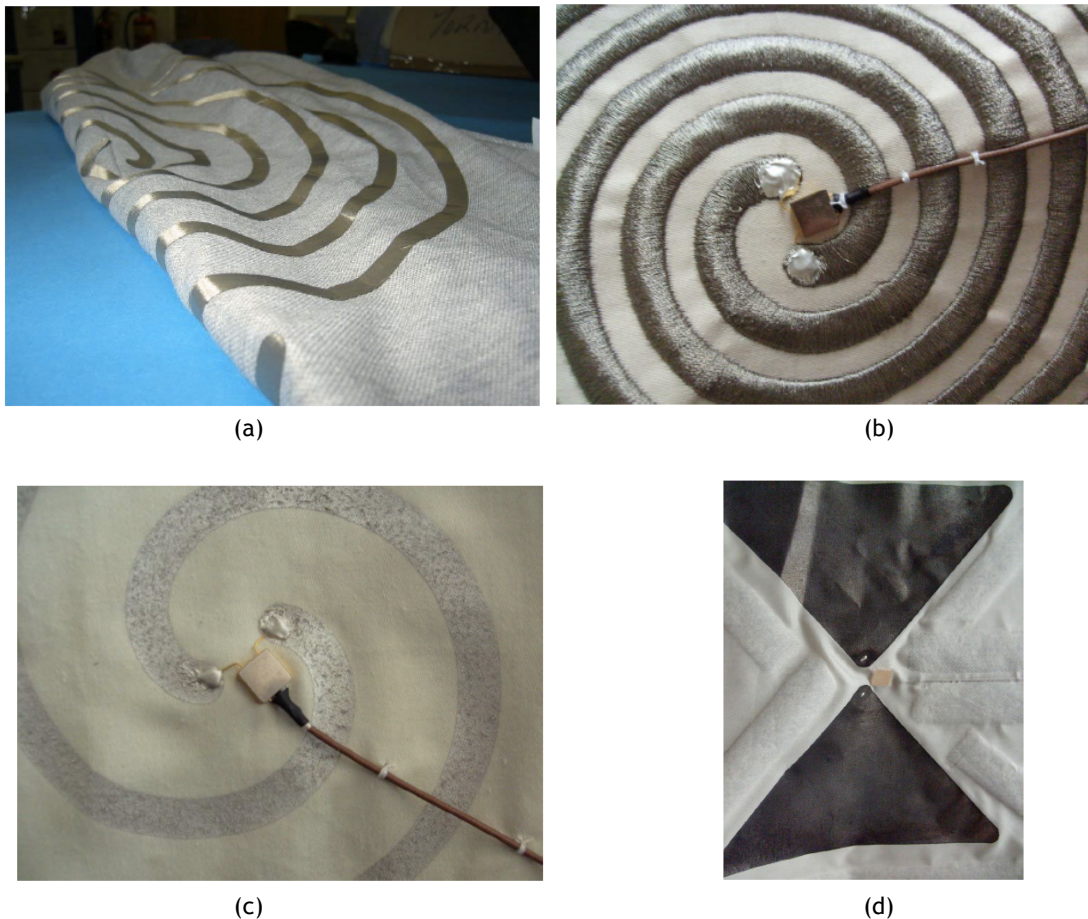


Figura 23 - (a) antena espiral desenvolvida com entretela condutora de nylon (b) antena espiral bordada com fio condutor (c) antena espiral pintada com tinta condutora (d) antena Bowtie construída com tecido revestido com cobre. [fonte: [49]]

Capítulo 5

Materiais têxteis para antenas vestíveis

A partir das antenas apresentadas no estado da arte anterior, podemos verificar que as antenas planares são as mais recomendadas para a integração no vestuário, pois têm uma estrutura que se adapta facilmente à roupa sem que haja perda de mobilidade por parte do utente ([41]-[38]-[37]).

Como referido no capítulo anterior, estas antenas requerem para sua estrutura, materiais condutores e materiais dielétricos flexíveis. Durante a seleção e escolha destes materiais, muitos critérios devem ser avaliados, pois as características dos materiais têxteis afetam diretamente o comportamento da antena construída, como veremos nas subseções a seguir.

Sendo assim, o conhecimento das propriedades elétricas e eletromagnéticas destes materiais são essenciais para um bom dimensionamento e um bom desempenho da antena. As propriedades elétricas dos tecidos condutores devem ser caracterizadas com precisão e muitas vezes estes dados já são enviados pelos fornecedores^{12 13}. No entanto, menos informação é encontrada a respeito da caracterização das propriedades eletromagnéticas dos têxteis dielétricos, o que faz com que tenhamos mais dúvidas e cautela na escolha deste material.

5.1 Materiais Condutores

Os materiais têxteis convencionais são no geral materiais isolantes. Existem no entanto materiais com elevada condutividade eléctrica, feitos incorporando fibras, filamentos ou recobrimentos metálicos ou em polímeros condutores.

Os tecidos, as malhas e não-tecidos condutores são materiais têxteis planares, e por isso as suas propriedades eléctricas são caracterizadas pela resistividade eléctrica superficial.

5.1.1 Resistividade eléctrica superficial

A resistência eléctrica superficial é o razão entre a tensão e a corrente contínua que flui entre eléctrodos que estão colocados na mesma face do protótipo em teste. É dada em

¹² Less EMF Inc. - <http://www.lessemf.com>.

¹³ Shieldex Trading - <http://www.shieldextrading.net>.

ohm (Ω). A resistividade eléctrica superficial é o razão entre a tensão por unidade de comprimento e a corrente por unidade de largura. É dada em Ohm/quadrado (Ω/\square) e é uma propriedade intrínseca do material, não dependendo da configuração dos eléctrodos nem do teste. É um parâmetro normalmente cedido pelo fabricante do material condutor.

A caracterização do comportamento eléctrico dos materiais têxteis condutores, também pode ser obtida por uma diversidade de métodos, incluindo os métodos de teste em linhas de transmissão [51]¹⁴, [52], [53]¹⁵.

Para a melhor eficiência da antena têxtil, aconselha-se materiais com resistividade eléctrica baixa e estável do têxtil condutor, sendo $\leq 1\Omega/\text{sq}$ uma escolha razoável, para a maximização de perdas [38].

Alguns dos materiais condutores apresentados no mercado não são fabricados a partir de fibras condutoras mas, levam apenas um revestimento condutor. Locher em [38], apresenta um estudo onde conclui que devemos ter atenção ao usar este tipo de material pois, quando o tecido é banhado na liga metálica (como os fios estão sobrepostos uns aos outros devido ao entrelaçamento) os fios que estão por baixo não ficam recobertos com a liga fazendo com que o fluxo da corrente eléctrica seja descontínuo, aumentando assim a resistividade eléctrica do material. Este efeito pode ser observado na imagem abaixo.

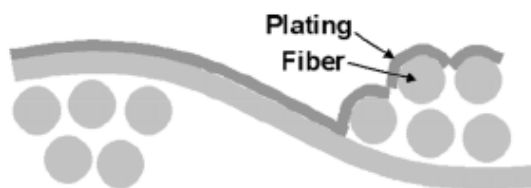


Figura 24 - Ilustração de um corte transversal do tecido com revestimento condutor. [fonte: [38]]

Com tudo, como nos explica [54], devemos observar que, se o material têxtil apresentar descontinuidades paralelas à superfície da corrente, estas não irão causar reflexões no campo eletromagnético, não interferindo assim na resistividade eléctrica.

5.1.2 Influência da deformação mecânica

Apesar da flexibilidade, elasticidade e deformabilidade serem requisitos nos materiais a serem usados na fabricação das antenas, de modo a suportar deformações causadas pelos ângulos de curvatura do corpo humano ([38], [42]), devemos lembrar que uma deformabilidade muito grande como ocorre tipicamente nas malhas diminui a precisão da

¹⁴ Transmission Lines Method.

¹⁵ Transmission lines and MoM-segment.

configuração geométrica da antena. Além disso, a resistência elétrica das malhas varia com a direção da deformação, havendo diferença quando esta é deformada na direção longitudinal relativamente a quando é deformada na direção transversal ([38]-[55]).

Este fenômeno é devido ao aumento dos pontos de contato e, pelo aumento do percurso elétrico. Sendo assim, quando deformamos a malha na direção das colunas¹⁶ a resistência pouco se altera, já que nesta direção a malha (na maioria dos pontos) não possui tanta elasticidade. Já quando deformamos na direção das fileiras¹⁷ a resistência aumenta significativamente, pois neste sentido as malhas costumam ser muito elásticas. Esta variação pode ser melhor compreendida observando as figuras abaixo.

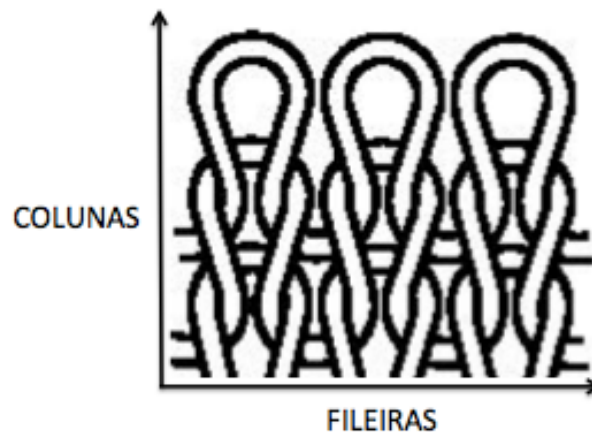


Figura 25 - Esquema de uma estrutura básica de malha - Jersey [fonte: autor]

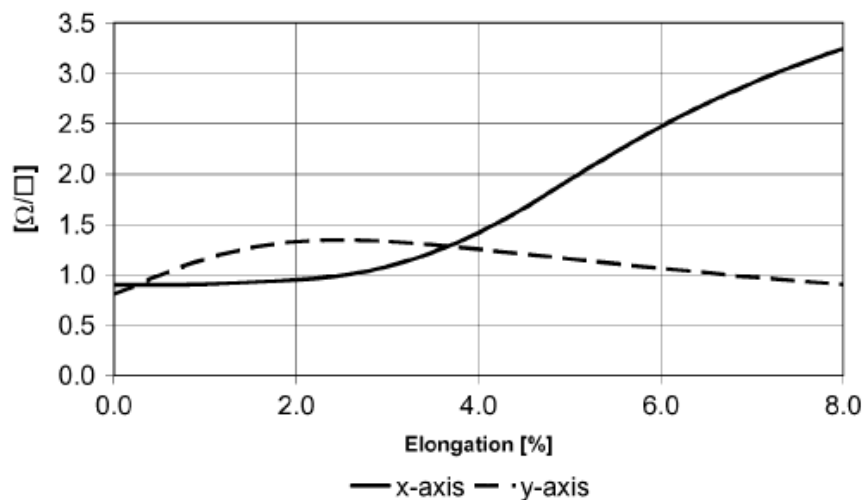


Figura 26 - Gráfico demonstrando a variação na resistência elétrica de uma determinada malha devido ao alongamento [fonte: [38]]

¹⁶ As colunas das malhas são as sequências de laçadas uma acima da outra a direção vertical.

¹⁷ As fileiras das malhas, ao contrário das colunas, são sequências de laçadas tricotadas uma ao lado da outra na direção horizontal.

5.1.3 Influência da proporção de fios condutores

A proporção dos elementos condutores também influenciam o comportamento eléctrico dos materiais. Em [53] um tecido condutor com ligamento cetim de 5, como ilustrado na figura abaixo, foi testado e permitiu concluir que a diferença de faces relativamente à proporção de fio condutor determina diferenças na resistividade eléctrica da superfície. A face com maior proporção de fio condutor apresentava menor resistividade eléctrica.

Igualmente, uma maior densidade de fios condutores no tecido também causa uma menor resistividade eléctrica superficial [38].

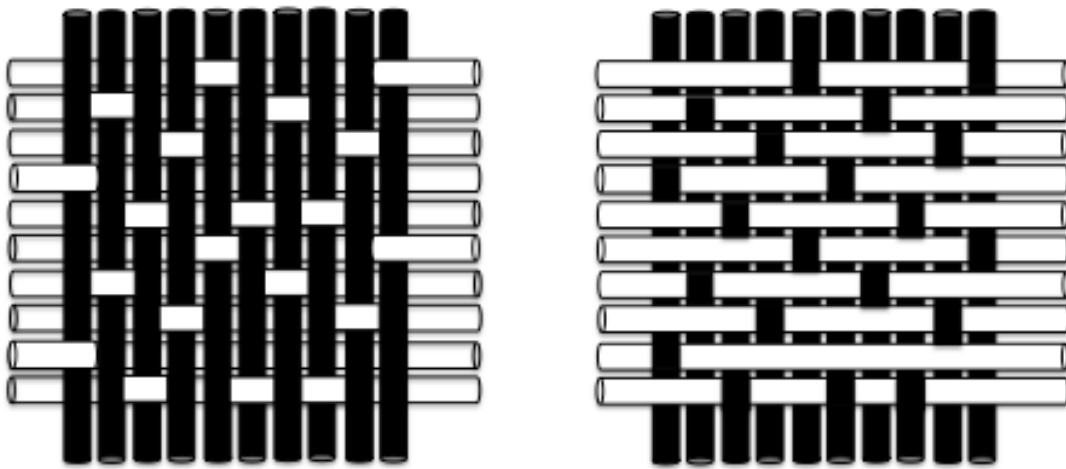


Figura 27 - Esquema da estrutura do tecido - Cetim de 5, fios condutores a branco e fios não condutores a preto. [fonte: autor]

5.1.4 Influência do teor de humidade

A humidade é um dos fatores mais importantes na determinação da resistividade eléctrica dos materiais têxteis [56] . A presença de humidade nas fibras têxteis faz com que a resistividade diminua significativamente, como pode ser observado no gráfico abaixo.

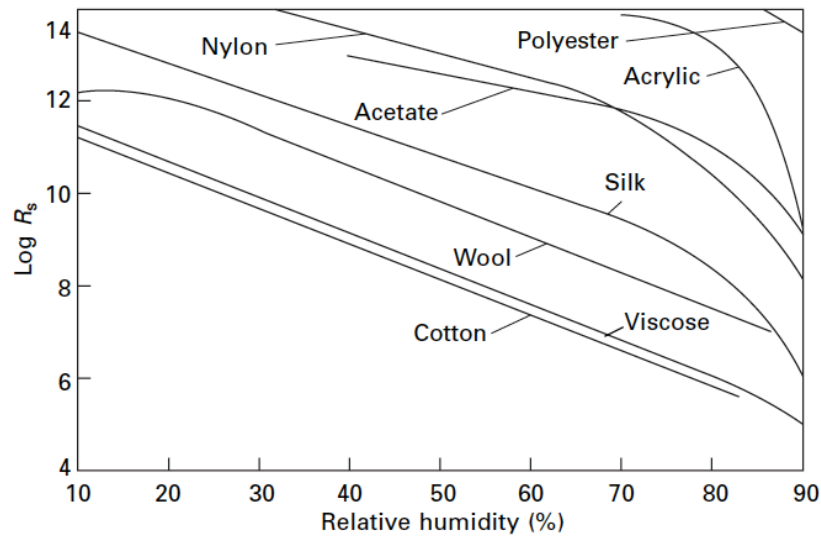


Figura 28 - Variação da resistência elétrica das fibras em relação a umidade relativa. [fonte: [56]]

5.2 Materiais dielétricos

“Quando se trata de campos eletrostáticos, o meio no qual os mesmos existem deverá ter muito grande resistividade, opondo-se tanto quanto possível à passagem de corrente eléctrica de condução, motivo pelo qual recebe o nome de *dielétrico*. O material que o constitui é designado por *isolante*.” [57]

É costume classificar como isolantes eléctricos os materiais que apresentam uma resistividade superior a $10^8 \Omega\text{cm}^2/\text{cm}$ [57]. Podemos dizer que os materiais isolantes apresentam algumas características fundamentais que são de extrema importância para entender melhor o seu comportamento.

Alguns pesquisadores têm estudado e analisado estas características dielétricas dos materiais têxteis ([58]-[56]-[59]) mas, estas são influenciadas também pela natureza das fibras e polímeros que o material é constituído [58], pelo estado higrométrico do material¹⁸, pela sua pureza, porosidade ([15]-[17]) e homogeneidade. Assim, a medição precisa das características dielétricas dos têxteis é um desafio e várias técnicas experimentais têm sido utilizados para esse fim [40]¹⁹, [60]²⁰, [59]²¹, [61]²². Estes efeitos serão relatados nas subsecções a seguir.

¹⁸ Segundo o Dicionário de Língua Portuguesa da Porto Editora, 1. Relativo à higrometria; 2. Diz-se dos corpos sensíveis à variação do grau de humidade ambiente; 3. Meteorologia: estado higrométrico do ar, relação entre a tensão do vapor de água em dado volume de ar, em dado momento e a determinada temperatura, e a tensão máxima, à mesma temperatura.

¹⁹ Cavity Perturbation Method.

²⁰ Free Space Method.

²¹ Resonance Method.

²² Transmission Line Method.

5.2.1 Permittividade dielétrica e tangente de perda

Podemos considerar a permissividade (ϵ) como o parâmetro de avaliação para a escolha de um bom material para o substrato dielétrico.

A permissividade é geralmente expressa por um valor relativo:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r = \epsilon_0 (\epsilon'_r - j\epsilon''_r) \quad (2)$$

Onde:

ϵ_r é a permissividade do vácuo, avaliada em $8,854 \times 10^{-12}$ F/m [62]

A parte real da permissividade relativa (ϵ'_r) é chamada de permissividade ou constante dielétrica. Já a relação entre a parte imaginária e a parte real é chamada de tangente de perda, sendo expressa por:

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''_r}{\epsilon'_r} \quad (3)$$

Em geral, os tecidos apresentam uma constante dielétrica muito baixa, que reduz as perdas de ondas superficiais, estas ondas estão ligados à propagação da onda guiada dentro dos substratos, por conseguinte, reduzindo a constante dielétrica aumentam ondas espaciais, o que conseqüentemente aumenta a largura de banda de impedância da antena, permitindo o desenvolvimento de antenas com elevado ganho e eficiência aceitável ([39]-[46]-[50]-[41]).

5.2.2 Influência da humidade relativa do ar

Os materiais têxteis estão sempre a estabelecer um equilíbrio, chamado de *hidrodinâmico*, com a temperatura ambiente e a humidade relativa do ar. Para que esse equilíbrio ocorra, existe constantemente uma troca de moléculas de água com o ar. No entanto, a quantidade de água absorvida pelo material até atingir este equilíbrio depende da origem, do tipo de estrutura molecular e do tipo de componentes químicos que formam as fibras que o compõem, por isso a existência de diferentes teores de humidade nos materiais têxteis [56].

Por exemplo, o algodão absorve a humidade do ambiente até estabilizar. Se depois de seco, o algodão for colocado na atmosfera normalizada de 20°C e 6 % de humidade, retomará cerca de 8,5 % de humidade para ficar em equilíbrio com o ar [63]. No caso do algodão, este valor corresponde também à sua taxa legal ou convencional de humidade.

O fenómeno de recuperação da humidade é frequentemente referido pela designação inglesa *Regain* [56]. O gráfico abaixo ilustra o comportamento de algumas fibras.

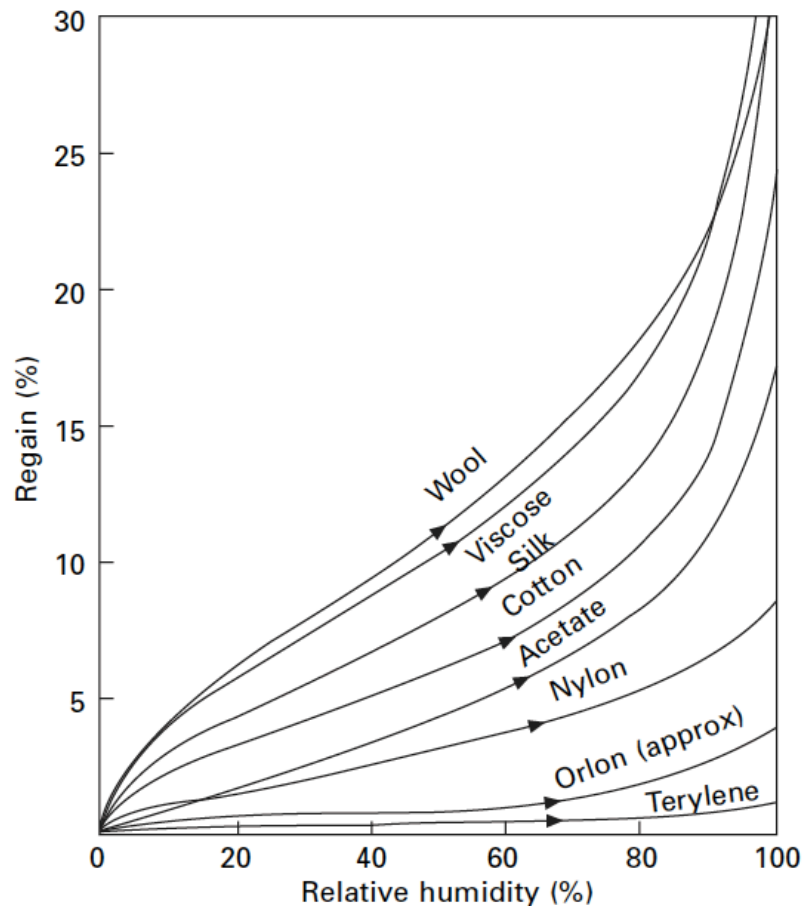


Figura 29 - Relação entre fenômeno de recuperação de umidade no algodão, viscose, acetato, seda, lã, nylon, fibra acrílica Orlon e fibra de poliéster Terylene. [fonte: [56]]

O teor de umidade altera as propriedades eletromagnéticas e dimensionais do material têxtil. Como os têxteis são porosos, têm muitas cavidades de ar, o ar aproxima a permitividade do têxtil ao valor 1. De facto, a permitividade relativa dos materiais têxteis geralmente é ente 1 e 2, enquanto a permitividade da água é aproximadamente 78 a 2,45 GHz e a 25 °C [64]. Sendo assim, a maior constante dielétrica da água domina a do material causando o aumento da constante dielétrica e das perdas do material têxtil [64].

Desta forma quando a água é absorvida pelo material têxtil que constitui a antena, esta altera de forma dramática os seus parâmetros. Assim, a água presa ao substrato dielétrico reduz a frequência da ressonância ([46]-[65]) e a largura de banda da antena [50]. pois

Em [56], os autores nos apresentam diferentes gráficos resultante da análise comportamental de diferentes materiais têxteis sob variadas condições de umidade, onde nos ajudar a visualizar melhor esta relação entre a constante dielétrica, tangente de perda e a umidade relativa.

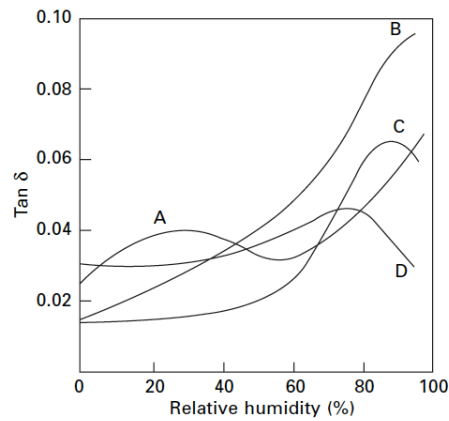


Figura 30 - Efeito da umidade relativa a 20 °C em relação a $\tan \delta$: A, viscose rayon; B, nylon 6.6; C, nylon 6; D, fibra acrílica Acrilan. [fonte [56]]

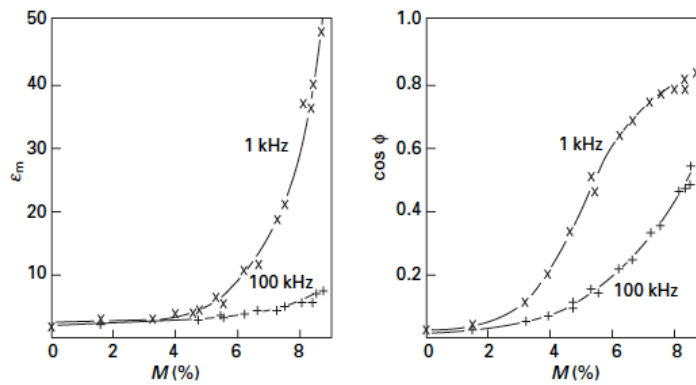


Figura 31 - Variação das propriedades dielétricas do algodão em relação ao teor de umidade (M). [fonte [56]]

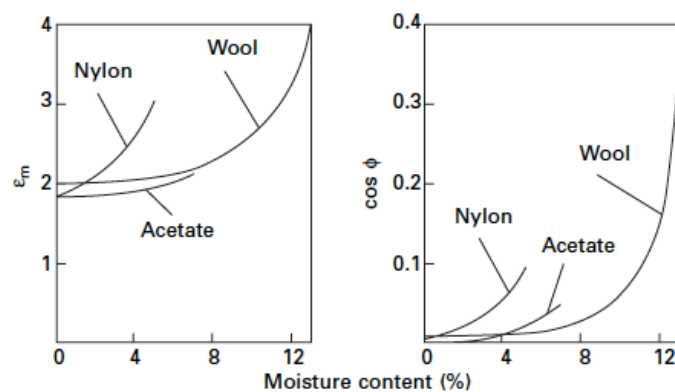


Figura 32 - Variação das propriedades dielétricas de várias fibras em relação ao teor de umidade a 1 kHz. [fonte: [56]]

Para além da alteração das propriedades dielétricas, quando as fibras têxteis absorvem água, suas dimensões e, conseqüentemente o seu volume se alteram, este efeito é

vulgarmente conhecido como *inchaço*. Este efeito afeta diretamente a estabilidade dimensional de alguns tecidos e/ou malhas, visto que o aumento do diâmetro das fibras resulta no encolhimento dos fios com torção e das estruturas com entrelaçamento logo, implica encolhimento de toda a estrutura dimensional do tecido e/ou malha [66]. Esta instabilidade criada pelo encolhimento das fibras afeta diretamente a estabilidade geométrica e mecânica das antenas, que são requisitos essenciais para preservar as características da mesma [38].

Ainda a respeito do *inchaço* podemos relatar que nos tecidos de entrelaçamento mais apertado, o aumento do diâmetro das fibras que constituem o fio, faz com que diminua a porosidade o tecido deixando-o impermeável a passagem de ar [66]. Como já vimos anteriormente, o ar é um bom isolante e, muitos dos materiais têxteis utilizados como substrato dielétrico em antenas contém uma grande percentagem de ar entre as fibras, portanto se a água ocupar o lugar do ar, mais uma vez teremos a alteração na constante dielétrica do têxtil em questão.

Outras alterações ainda podem surgir, nomeadamente a elevação de temperatura, pois a absorção de humidade é um processo exotérmico [55]. Finalmente, a presença de humidade em algumas fibras têxteis faz com que a sua resistência diminua consideravelmente, como ocorre por exemplo com a fibra de lã e, em outros casos faz com que ela aumente como ocorre no algodão. Além disso, a lã e outras fibras podem aumentar a sua elasticidade quando húmidas [56].

5.2.3 Espessura do material

No que diz respeito à espessura no substrato, podemos dizer que este fator é crucial no design da antena ([40]-[64]). Como os tecidos têm quase todos a mesma permitividade, a espessura do substrato, geralmente, é o que vai definir a largura de banda da antena, bem como a variação da espessura afetará também a frequência de ressonância ([5]-[40]-[41]).

Além da performance da antena, a espessura do substrato também interfere no dimensionamento geométrico da mesma. Ou seja, substrato mais espesso com permitividade mais baixa (valores entre 1 e 2) resultam num patch maior, enquanto que um substrato mais fino e com permitividade elevada resulta num patch menor [41].

5.3 Revisão dos materiais utilizados em projetos anteriores

Com base no estado da arte apresentado anteriormente na subsecção x, foi desenvolvida uma tabela com as principais características dos materiais têxteis que foram utilizados para desenvolver as antenas flexíveis, assim podemos comparar melhor a escolha de cada autor.

REFERENCE	ANTENNA	FREQUENCY	DIELECTRIC MATERIAL				CONDUCTIVE MATERIAL
			MATERIAL	THICKNESS	ϵ_r	$\tan\delta$	
[44]	Dual-band	GSM 900MHz and Bluetooth 2.4GHz	Unspecified textile material	0,236 mm	3,29	0,0004	-
[47]	Bluetooth applications	Bluetooth applications	Fleece fabric	3 mm	1,04	-	Knitted copper fabric
[46]	GPS antenna with circular polarization	GPS antenna with circular polarization	<i>Cordura®</i>	0.5 mm	Between 1.1 and 1.7.	-	Copper tape
[38]	Bluetooth applications	Around 2,4 GHz	Polyamide spacer fabric	6 mm	1,14	negligible	Silver-copper-nickel plated woven fabric
[38]	Bluetooth applications	Around 2,4 GHz	Woolen felt	3.5 mm	1,45	0,02	Silver-copper-nickel plated woven fabric
[50]	Rectangular-ring textile antenna	More than 190 MHz.	Fleece fabric	2,56 mm	1,25	-	<i>Flectron</i>
[48]	Dual-band coplanar patch antenna	2,45 and 5,8 GHz wireless bands	Felt	1,1 mm	1,30	0,02	<i>Zelt</i>
[42]		Around 2,4 GHz	Foam	3,94 mm	1,52	0,012	Patch: <i>Zelt</i> Ground plane: <i>Flectron</i>

Tabela 1 - Quadro comparativo dos materiais têxteis utilizados no design de antenas flexíveis [fonte: autor]

Após análise desta tabela podemos concluir que:

- Os trabalhos desenvolvidos utilizam os materiais condutores mais conhecidos no mercado, como o *Flectron* e o *Zelt*;
- A espessura do substrato não ultrapassa 6 mm. Para a melhor integração no vestuário, a maioria dos autores utiliza substratos entre 2 mm e 3 mm, como sugerido em [42];
- Muitas antenas utilizam o *fleece* (malha polar) como substrato. A pesar da dificuldade de caracterização deste material pela grande quantidade de ar que este possui, é justamente por isso que ele apresenta um bom desempenho. Como já visto anteriormente o ar é um bom isolante elétrico.
- Os substratos dielétricos mais utilizados, apesar de muitos autores não terem especificado sua composição, possuem um valor de constante dielétrica entre $\epsilon_r = 1.1$ e $\epsilon_r = 1.5$, sendo dentro do aconselhado por [3].

Capítulo 6

Desenvolvimento de antenas

6.1 Simulação prática

Foram simuladas duas antenas do tipo *patch microstrip*, com diferentes substratos têxteis, utilizando o software CST Microwave Studio 2011 onde, além da simulação de dimensões, ainda foi possível simular a largura de banda, eficiência, ganho, diagrama de radiação e o do parâmetro S_{11} . Estas simulações de carácter experimental foram realizadas no Instituto de Telecomunicações de Aveiro, com o auxílio do Investigador Ricardo Gonçalves.

6.1.2 Descrição das antenas

As antenas aqui propostas, foram desenhadas de forma a serem ressonantes em torno dos 2.45 GHz e englobar a banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) entre 2.4 e 2.5 GHz. Esta largura de banda também serve de suporte aos serviços de WLAN (Wireless Local Area Network), Bluetooth, SRCS (Short Range Communication Systems 802.15.4), entre outros.

Por ser justamente onde operam estes serviços, nesta largura de banda há muita radiação que pode ser coletada, assegurando assim a proposta inicial, onde as antenas poderão efetuar a recolha da radiação eletromagnética para que posteriormente esta seja utilizada na alimentação de dispositivo de RF. Além disso, as antenas simuladas poderão ser futuramente integradas em vestuário inteligente em diversas aplicações, desde as de monitorização médica às de comunicação e *life-style*.

6.1.3 Materiais utilizados

Com base no estudo dos capítulos anteriores, foram selecionados dois diferentes materiais têxteis para o substrato dielétrico e um tecido condutor para o *patch* e o plano de massa. O critério de escolha dos materiais para substrato consistiu em preferir materiais compostos de fibras que interagem pouco com a humidade, poliéster e poliamida, de forma a minimizar os efeitos da humidade na antena. Consistiu ainda em preferir para substrato materiais estáveis dimensionalmente e homogéneos, de forma a facilitar a estabilização da antena real a integrar em vestuário. O critério de escolha dos materiais condutores consistiu em preferir materiais com elevada condutividade e muito finos. Abaixo, podemos analisar as diferentes especificações de cada um.

Material Condutor						
TECIDO 1	Nome	Fornecedor	Composição	Resistividade elétrica ($\Omega/\text{sq.}$)	Espessura (mm)	Condutividade elétrica (S/m)
	Zelt	Less EMF Inc.	Tafetá 100% nylon revestido com uma liga de cobre e estanho	$\leq 0,09$	0,006	$1,75 \times 10^5$

Tabela 2 - Especificações do tecido condutor. [fonte: autor]

Material Dielétrico						
TECIDO A	Nome	Fornecedor	Composição	Permitividade Relativa (ϵ_r)	Tangente de perda ($\tan\delta$)	Espessura (mm)
	Feltro	OBER S/A	100% poliéster	1,3	0,02	2
TECIDO B	Nome	Fornecedor	Composição	Permitividade Relativa (ϵ_r)	Tangente de perda ($\tan\delta$)	Espessura (mm)
	Cordura®	Du Pont	100% poliamida de alta tenacidade	1,9	0,0098	0,5

Tabela 3 - Especificações dos tecidos dielétricos [fonte: autor]

6.2 Resultado das simulações

6.2.1 Antena 1

Esta primeira antena foi projetada utilizando como tecido condutor o tecido 1 (*Zelt*) e como substrato dielétrico o tecido A (*feltro de poliéster*). Na figura abaixo podemos visualizar o formato da antena resultante da simulação.

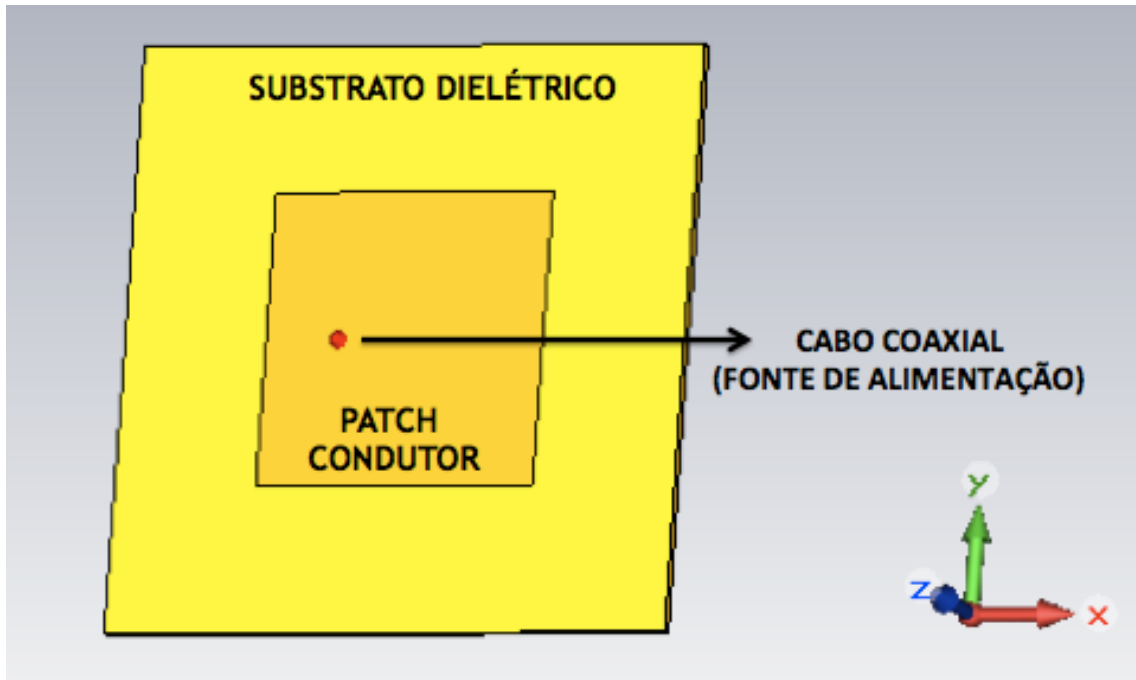


Figura 33 - Design da antena 1. [fonte: autor]

A alimentação da antena é feita com base em cabo coaxial e o ponto de alimentação está indicado pela marca vermelha. Este foi escolhido, por forma a conseguir o melhor ponto de adaptação da impedância aos 50Ω característicos dos sistemas RF.

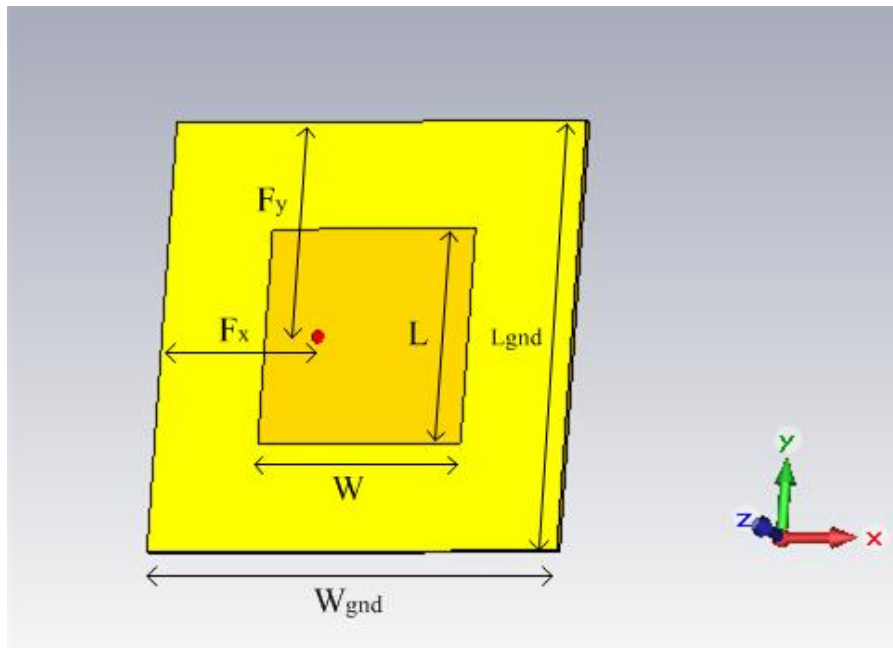


Figura 34 - Esquema da antena 1. [fonte: autor]

Parâmetro	Dimensão [mm]
W, L	49.5, 50.0
W_{gnd} , L_{gnd}	100.0, 100.0
F_x , F_y	38.5, 50.0

Tabela 4 - Dimensões da antena 1. [fonte: autor]

Como descrito anteriormente na subseção 4.1.5, uma antena apresenta uma frequência de ressonância, em todas as frequência onde ocorre um máximo da parte real da impedância e uma inflexão da parte imaginária. Assim, podemos observar na figura X, a resposta da simulação da impedância, sendo a parte real demonstrada pela linha negra e a parte imaginária pela linha azul.

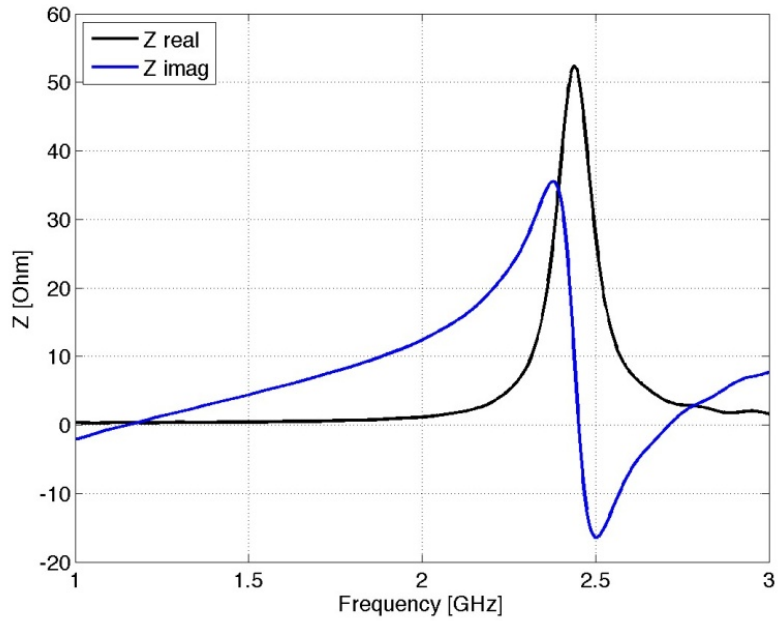


Figura 35 - Resposta simulada da impedância da antena 1. [fonte: autor]

Analisando esta imagem, podemos verificar a resposta da impedância da antena simulada com a variação da frequência, assim constatamos que existe uma frequência de ressonância em torno dos 2.45 GHz, tal como se pretendia.

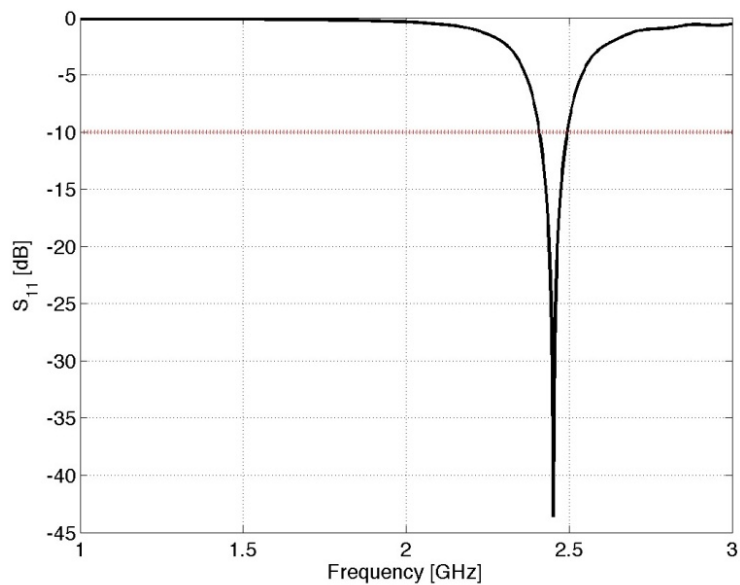


Figura 36 - Perdas de retorno (S_{11}) simuladas para a antena 1. [fonte: autor]

De acordo com a resposta obtida para o parâmetro S_{11} a largura de banda obtida para este tipo de antenas é bastante estreita, estando contida entre 2.4 GHz e 2.5 GHz, o que cumpre com os requisitos propostos mas com margem muito pequena para eventuais desvios de um protótipo real.

Abaixo, podemos observar a simulação do diagrama da radiação em uma versão 3D, figura 37, onde é possível verificar que o máximo de propagação da radiação (indicado com cor vermelha) está no sentido do patch e um mínimo de radiação (indicado com cor azul) está no sentido de plano de massa, sendo assim um diagrama direcional como estudado na seção 4.1.6. Na sequência, a figura 38, ilustra o diagrama de radiação numa versão 2D, onde apresenta o plano YZ (linha negra tracejada) plano XZ (linha azul contínua).

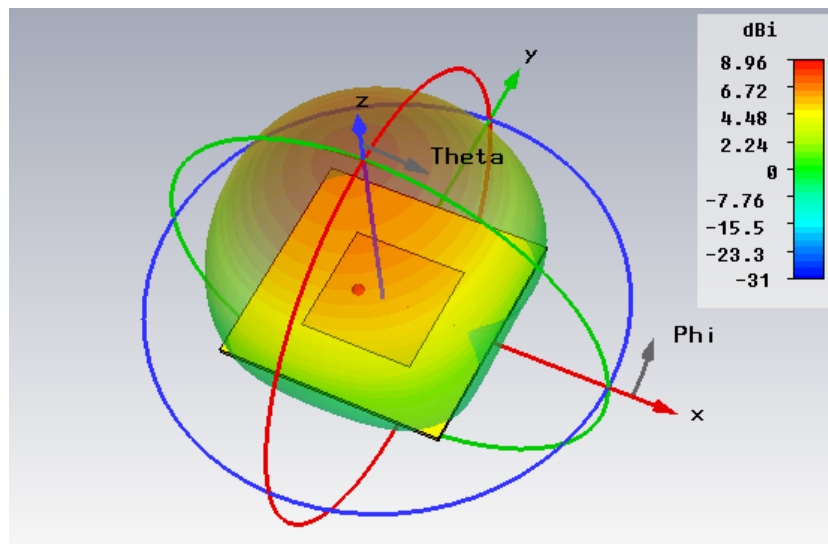


Figura 37 - Diagrama de radiação (3D) simulado da antena 1. [fonte: autor]

Devemos ainda observar que na imagem acima, o valor apresentado em dBi, refere-se a diretividade e não ao ganho.

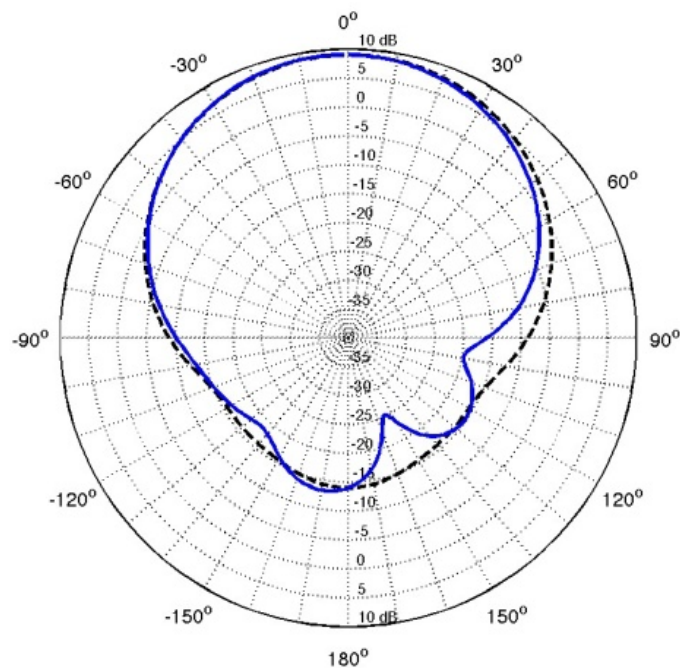


Figura 38 - Diagrama de radiação (2D) simulado da antena 1. [fonte: autor]

Pela simulação, a antena 1 apresentou um ganho satisfatório, sendo este 5.63 dB, o que é um valor elevado, na ordem de valores típicos de ganho obtidos para antenas impressas do tipo *patch microstrip*.

Já a eficiência de radiação desta antena é aproximadamente 47%, sendo este um valor um pouco abaixo das eficiências típicas para este tipo de antenas.

De notar que, como referido na subsecção 4.1.2, a eficiência é a relação entre o ganho e a directividade. Ou seja, o ganho é o valor da directividade obtido multiplicado pela eficiência. Mas, este cálculo não pode ser feito directamente sobre os valores em dB, é necessário uma conversão para linear do valor da directividade, sendo:

$$D_{\text{linear}} = 10^{\frac{D_{\text{dB}}}{10}} \quad (4)$$

Após multiplicar este novo valor da directividade pela eficiência obtida, deve-se voltar a convertê-lo em dB, sendo:

$$G_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10} G_{\text{linear}} \quad (5)$$

Desta forma, obtemos o valor de 5.63 dB, referido acima.

6.2.2 Antena 2

Esta segunda antena foi projetada utilizando como tecido condutor o tecido 1 (*Zelt*) e como substrato dielétrico o tecido B (*Cordura*®). Na figura abaixo podemos visualizar o formato da antena resultante da simulação.

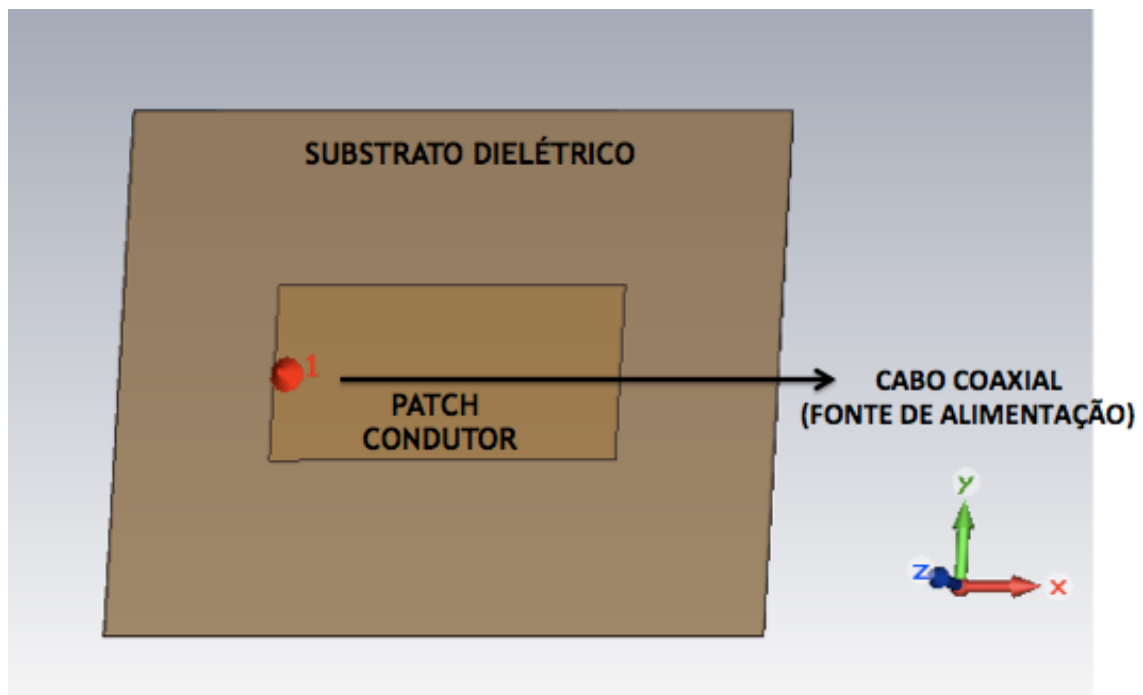


Figura 39 - Design da antena 2. [fonte: autor]

A alimentação desta antena também é feita com base em cabo coaxial e o ponto de alimentação está indicado pela marca vermelha, como na antena 1.

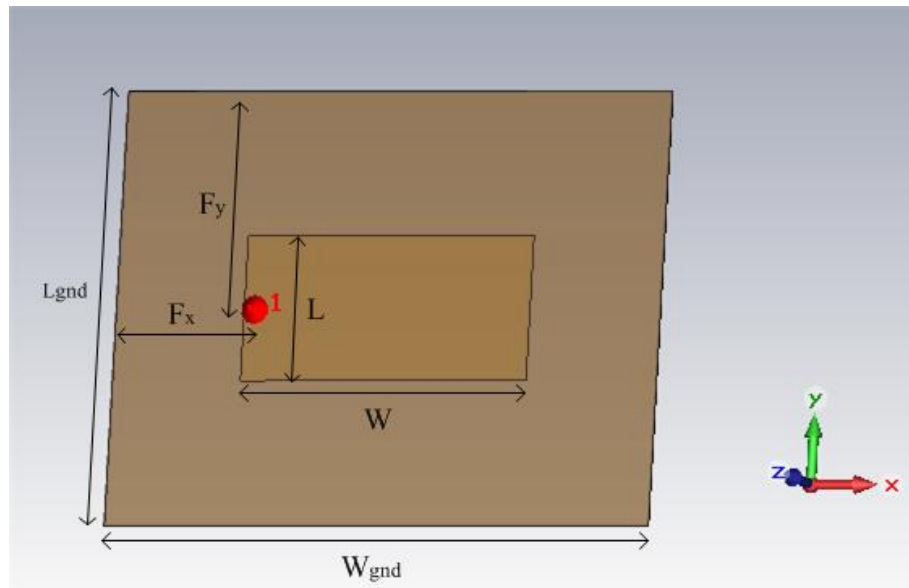


Figura 40 - Esquema da antena 2. [fonte: autor]

Parâmetro	Dimensão [mm]
W, L	42.0, 20.0
W_{gnd} , L_{gnd}	80.0, 60.0
F_x , F_y	20.0, 30.0

Tabela 5 - Dimensões da antena 2. [fonte: autor]

A resposta em impedância desta antena vai ser muito parecida com a obtida para o caso anterior, visto que foi desenhada por forma a obter-se a mesma frequência de ressonância e uma banda equivalente. Podemos observar estes resultados nas figuras a seguir onde a fig. 41 apresenta a resposta em impedância e, a figura 42 demonstra as respectivas perdas de retorno (S_{11}) obtidas.

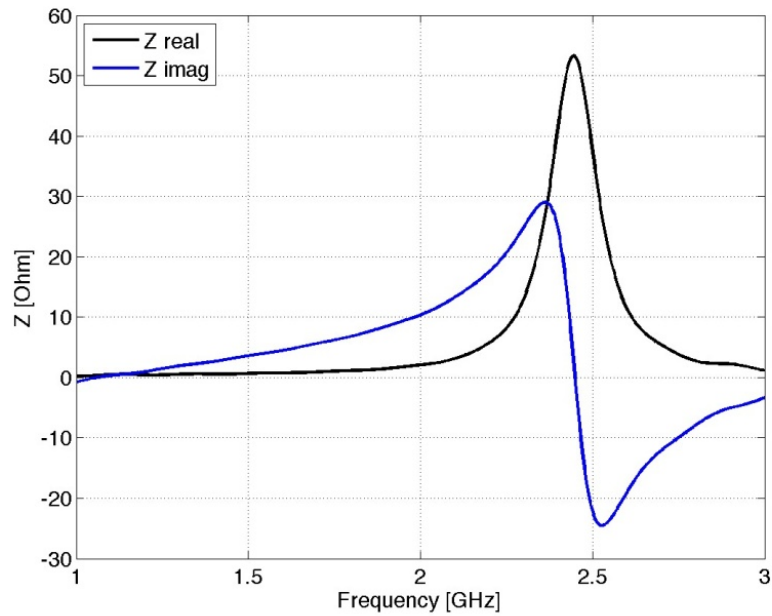


Figura 41 - Resposta simulada da impedância da antena 2 (parte real demonstrada pela linha negra e a parte imaginária pela linha azul). [fonte: autor]

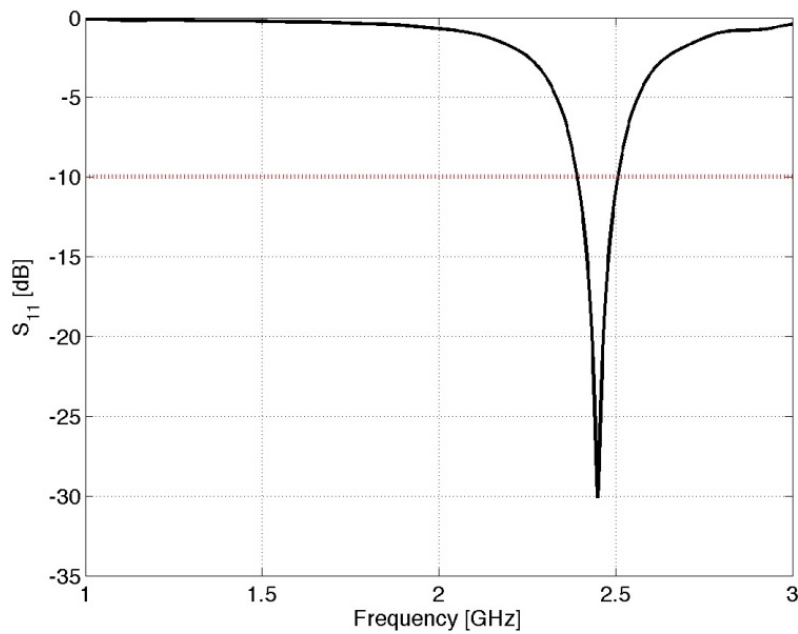


Figura 42 - Perdas de retorno (S_{11}) simuladas para a antena 2. [fonte: autor]

Com base neste gráfico da fig. 42 pode confirmar-se o bom funcionamento desta antena para o conjunto de frequências entre os 2.4 GHz e 2.5 GHz tal como aconteceu com a antena 1.

Abaixo, o diagrama de radiação da antena 2, figuras 43 e 44, é muito semelhante ao obtido para a antena 1, visto que ambas antenas são tipo *patch microstrip*. Uma característica interessante a observar aqui, é que a radiação no sentido do plano de massa no caso da antena 2 é inferior à da antena 1, como podemos visualizar na figura w. Este fenómeno de maior atenuação da radiação nessa direção pode ser explicado pela maior proximidade entre o patch e o plano de massa, devido à menor espessura do substrato.

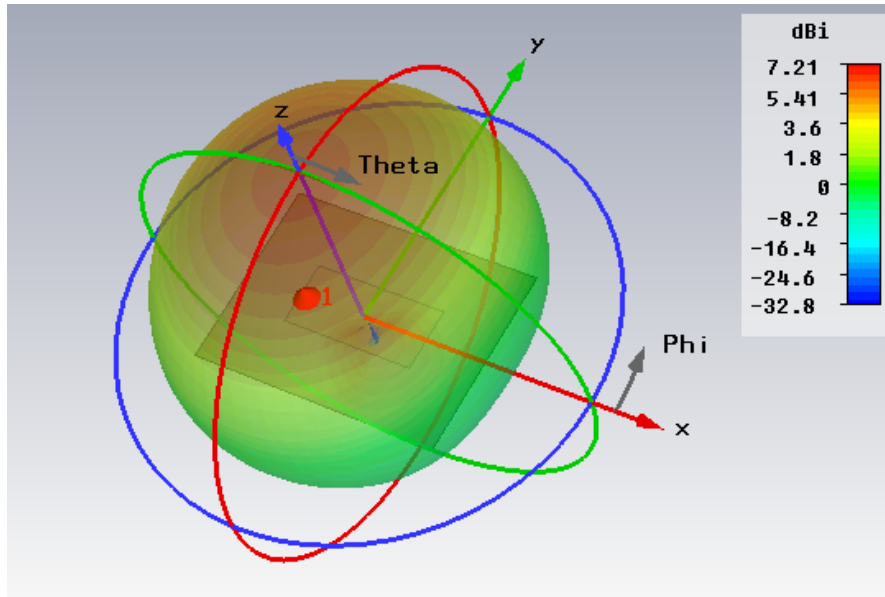


Figura 43 - Diagrama de radiação (3D) simulado da antena 2. [fonte: autor]

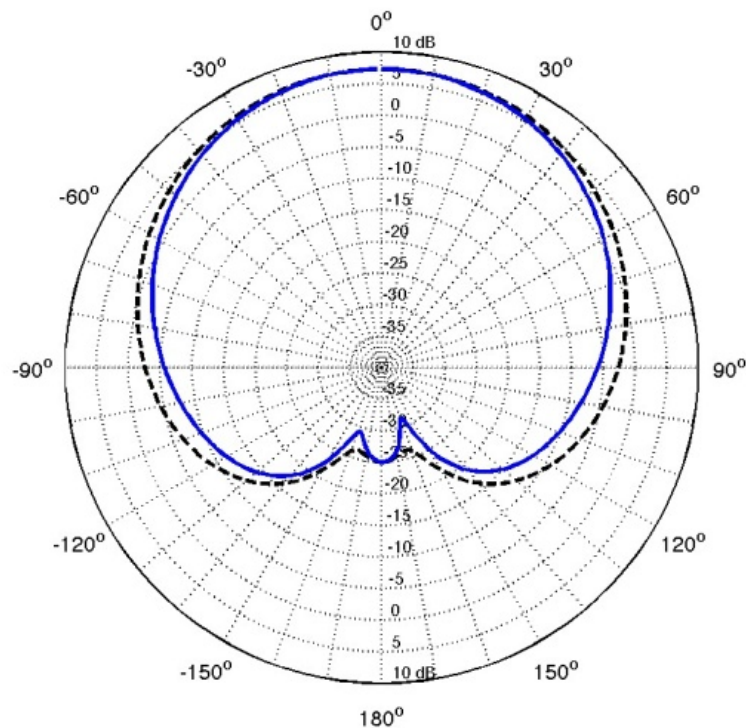


Figura 44 - Diagrama de radiação (2D) simulado da antena 2. [fonte: autor]

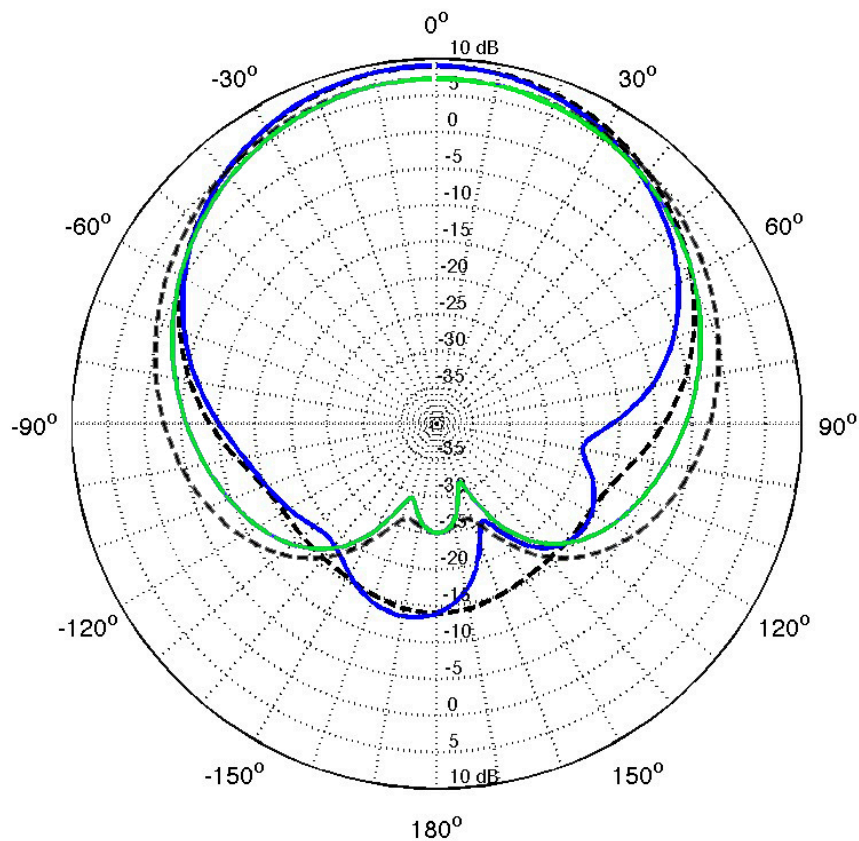


Figura 45 - Comparação dos diagramas de radiação (2D) simulados das antenas 1(linha azul) e 2 (linha verde). [fonte: autor]

Esta antena, através da simulação apresentou um ganho correspondente a -6.1 dB, que é um valor bastante baixo para este tipo de antena. Esse resultado é reflexo duma eficiência de radiação extremamente baixa com um valor em torno dos 6%.

6.3 Análise dos resultados

Podemos concluir que a antena 1, mostrou um ganho muito maior que a antena 2 mas, no que diz respeito a largura de banda, mesmo o substrato da antena 2 sendo bem mais fino que o substrato da antena 1, a diferença na permitividade relativa dos mesmos, acabou por fazer com que se conseguisse uma largura de banda bastante semelhante entre as duas. Além disso, estas antenas apresentam boas dimensões espaciais para a integração no vestuário. Sendo antenas de dimensões pequenas, a antena 1 tem $10 \times 10 \text{ cm}^2$ e a antena 2 tem $8 \times 6 \text{ cm}^2$, e ambas sendo finas, podem ser colocadas em diversas partes do corpo, geralmente as costas por terem uma maior extensão plana, são normalmente o local mais visado.

6.4 Construção das antenas têxteis flexíveis

Depois de escolher os materiais têxteis para projetar uma antena, a construção da mesma também é crucial e específica pois, como já vimos, os têxteis são materiais muito deformáveis. Assim, a montagem do *patch* condutor com o substrato dielétrico é crítica [38]. Muitos autores têm vindo tentando melhorar os processos de fabricação ([38]-[44]-[54]-[18]-[48]) das antenas têxteis e, após o estudo feito sobre estas diversas técnicas podemos chegar a algumas conclusões essenciais sobre este assunto.

6.4.1 Orientações para a montagem dos vários componentes

As dimensões geométricas devem permanecer estáveis durante a conexão do *patch* com o substrato dielétrico; a estabilização mecânica de ambos os materiais é essencial para preservar as características desejadas na antena. Além disso o corte de ambos materiais devem ser feitos com imensa precisão. O corte do material condutor, por ser menos espesso é mais crítico e, por isso é aconselhável optar por usar tecido plano para o *patch* em vez de utilizar malhas. No tecido plano conseguimos seguir o sentido dos fios, facilitando a precisão do corte, enquanto que nas malhas além de não termos nenhum guia esta ainda tem o problema de desfiar ([38]-[41]).

Ao escolher a técnica de conexão entre as várias camadas deve-se ter muita atenção pois, esta não deve prejudicar as propriedades elétricas do *patch*, nomeadamente a sua resistência eléctrica. A montagem recorrendo a entretelas ou tecidos condutores com uma face adesiva tem demonstrado os melhores resultados ([38]-[50]). Este processo de fixação das camadas sobrepostas é muito simples de realizar por uma simples operação de engomar.

Porém, devemos ter atenção com as questões de humidade provocadas na montagem da antena quando se utilizam as entretelas para fixar uma camada a outra. O vapor de água libertado pelo ferro durante este processo pode causar oxidação do revestimento do material condutor, principalmente quando utilizado cobre, gerando assim um aumento na resistividade da folha. Este problema pode ser solucionado selecionando materiais condutores pouco sensíveis à oxidação quando o processo de montagem implicar no uso de entretelas [67].

Outra técnica apresentada é o uso de adesivos líquidos para a conexão das camadas. No entanto, esta técnica torna-se difícil pois a camada de cola aplicada deve ser fina e homogénea. Se esta não responder a estes requisitos, as zonas onde há acumulação do adesivo podem desempenhar o papel de isolante entre os fios condutores do *patch*. Além disso, estas colas são geralmente rígidas e quebradiças, e por isso eles não devem ser aplicados de maneira uniforme em toda a superfície pois irão interferir na flexibilidade da antena [38].

Costuras também já foram utilizadas na construção de antenas flexíveis, mas

apresentam algumas dificuldades. Em primeiro lugar, a costura deve ser plana, sem enrugamento, o que pode ser difícil de alcançar já que os materiais são deformáveis. Em segundo lugar, conforme o estudo apresentado em [38], o ponto passa através de todos os materiais: o *patch*, em seguida o substrato e depois o plano de massa, o que pode causar curto-circuito entre eles, devido a agulha levar fibras do material condutor para o substrato dielétrico.

A fim de se obter uma ligação uniforme entre as várias camadas, [41] ainda sugere-nos a junção das duas técnicas anteriores, aplicando além da cola uma costura de segurança.

Podemos conseguir a estabilidade geométrica e mecânica da antena, devemos usar pelo menos um componente não deformável na estrutura. Ou seja, se ligarmos com entretela um patch deformável, tal como uma malha condutora, com um substrato menos deformável, ou vice-versa, resulta numa estrutura estável ([38]-[54]).

6.4.2 Análises após a montagem das antenas

Após a montagem das antenas têxteis, além dos testes de funcionalidade, estas ainda requerem outras análises. Neste âmbito podemos destacar 4 principais estudos sendo eles:

- Quantidade de energia absorvida pelo corpo humano e risco a longo prazo para a saúde do portador [39];
- Variação das propriedades eletromagnéticas sob deformação, nomeadamente deformação sob flexão, visto que as antenas integradas no vestuário serão deformadas de forma a acompanhar as curvas do corpo humano e, mesmo assim deverão manter as suas características ([38]-[45]);
- Estabilidade e precisão geométrica - A variação das dimensões devido ao alongamento e à compressão são típicos para os tecidos, os quais têm uma forte influência sobre as características eletromagnéticas da antena, como já relatado anteriormente [46];
- Resistência à abrasão devido aos movimentos de flexão [45].

Conclusão

Apesar da preocupação da população geral e da comunidade científica em relação ao *electrosmog* e à larga disseminação e utilização dos equipamentos eletrônicos muito próximos do corpo humano, ainda não existem evidências concretas que estes fatores possam ser prejudiciais para a saúde.

Apesar da informação desta situação estar cada vez mais disseminada pela população, maus hábitos e práticas de utilização dos equipamentos eletrônicos persistem. Devido a isso, os consumidores informados ficam diante de um grande paradoxo: de um lado o desejo pelo consumo de novas tecnologias e de outro, a preocupação quanto aos efeitos nocivos do CEM.

Diversos desafios emergem desta realidade, surgindo então uma necessidade dos novos designers se adaptarem a estas exigências e pensarem em projetos funcionais, onde integram moda, tecnologia e funcionalidade. Para além de vestuário inteligente, oportunidades emergem para vestuário protetor e produtos de moda promotores das boas práticas de uso do equipamento eletrônico.

Nesta realidade, os dispositivos eletrônicos vêm sendo miniaturizados e integrados no vestuário. Como a maioria destes dispositivos requer uma antena para o seu funcionamento, surge uma nova gama de antenas flexíveis para serem integradas confortavelmente nas roupas sem interferir no movimento do portador e sem prejudicar a sua saúde.

Paralelamente, cria-se a oportunidade destas antenas vestíveis serem usadas para captar a radiação eletromagnética poluidora, transformando-a em energia limpa para a alimentação de dispositivos de RF, que foi o enfoque desta investigação.

Após o estudo dos diversos modelos de antenas, concluímos que o mais adequado para esta finalidade são as antenas planares do tipo *patch microstrip*, pois além de serem facilmente integradas no vestuário, por serem planares, ainda apresentam por sua estrutura, uma certa blindagem contra a radiação emitida. Como confirmado com os testes práticos de simulação, o máximo de radiação destas antenas ocorre perpendicularmente ao patch, não havendo assim radiação significativa a atravessar o corpo. Estas antenas necessitam de tecidos condutores para o *patch* e o plano de massa e, de tecidos dielétricos para o substrato, portanto o conhecimento das propriedades eletromagnéticas dos materiais é fundamental e é a base do método científico de dimensionamento das antenas, pelo que foi amplamente abordado nesta dissertação.

Verificamos que os tecidos condutores são um tipo de material muito específico e, na maioria das vezes as suas características elétricas são fornecidas pelos seus fabricantes. Ao contrário dos dielétricos, que na sua maioria são materiais têxteis convencionais, cuja constante dielétrica é desconhecida, tornando difícil o processo de seleção dos materiais a

serem utilizados no desenvolvimento da antena. Por isso surge ao mesmo tempo mais um campo para pesquisa, a caracterização eletromagnética dos materiais têxteis.

Podemos considerar a resistividade elétrica o padrão de escolha para os materiais condutores, sendo $\leq 1\Omega/\text{sq}$ uma escolha razoável, para auxiliar na minimização de perdas. Já para os materiais dielétricos podemos definir a constante dielétrica e a tangente de perda o padrão de escolha, procurando assim, materiais com baixa permitividade dielétrica e tangente de perda. No entanto, o capítulo 5 permite-nos concluir que os materiais têxteis apresentam no geral permitividades muito baixas, entre 1 e 2, devido à presença do ar. Pelo que outras características, como a espessura, são a considerar.

Os materiais têxteis possuem ainda uma série de fatores que influenciam o seu comportamento, como por exemplo porosidade, humidade e homogeneidade. Estes fatores afetam o comportamento da antena, nomeadamente a largura de banda, a eficiência e o ganho. Assim, a escolha dos materiais deve também considerar a preferência por materiais que absorvem pequenas quantidades de humidade, de forma a minimizar o efeito da água na permitividade e na condutividade dos materiais. Ainda a escolha de materiais para substrato deve incidir em materiais homogêneos, para evitar perdas localizadas, e lisos na superfície, para evitar perdas na interface com os elementos condutores.

Além do cuidado com a seleção dos materiais muitas dificuldades ainda surgem no processo de montagem da antena pois, a maioria das técnicas ainda apresenta muitas dificuldades. A revisão bibliográfica realizada nesta dissertação orienta futuros desenvolvimentos experimentais de antenas indicando técnicas e cuidados a seguir na ligação dos vários componentes da antena.

No que diz respeito a parte prática, podemos dizer que os objetivos foram alcançados, pois com as bases que construímos ao longo deste estudo, conseguimos projetar uma antena puramente têxtil para funcionar na largura de banda dos 2,45 GHz. Esta frequência de ressonância foi deliberadamente escolhida para a antena captar os CEM da *electrosmog*, mas deixar também em aberto a possibilidade de aplicação da antena quer em monitorização médica/desportiva, quer em aplicações de moda *life-style*. Além do bom funcionamento, as antenas projetadas também apresentaram boas dimensões espaciais para a integração no vestuário.

Com isto, podemos dizer que ficam em aberto imensos campos para novos estudos e aplicações. No âmbito da investigação científica, pode-se explorar a caracterização eletromagnética dos materiais dielétricos, bem como aprofundar o estudo da influência de fatores como a humidade, homogeneidade e porosidade nos materiais têxteis em geral, fazendo com que as antenas tenham um melhor desempenho e com que o comportamento simulado seja cada vez mais parecido com o real. Pode-se ainda explorar a experimentação e construção da antena têxtil, nomeadamente a optimização das técnicas de ligação dos

componentes. Além disso, ainda é necessário uma avaliação do funcionamento, dos níveis de radiação emitidos, das propriedades sob deformação, e da resistência da antena construída.

Numa fase posterior pode-se explorar a integração da antena em vestuário inteligente e o próprio desenvolvimento do vestuário.

No âmbito da moda, esta dissertação cria oportunidades para integrar dispositivos de monitorização de sinais vitais, quer seja para aplicação desportiva de alta performance ou para aplicações médico-hospitalares. Ainda dependendo do tipo de radiação das antenas construídas, pode-se pensar em acessórios de moda que consigam otimizar a recolha de energia do ambiente para alimentar diversos tipos de sistemas de RF.

Bibliografia

- [1] Diversos, “Poluição Eletromagnética - Saúde pública meio ambiente, consumidor e cidadania: Impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares,” *Caderno Jurídico de São Paulo*, vol. 6, no. 2, Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.
- [2] S. Milham, *Dirty Electricity: Electrification and the Diseases of Civilization*. New York: iUniverse, Inc., 2010.
- [3] P. A. Valberg, E. V. Deventer, and M. H. Repacholi, “Workgroup Report: Base Stations and Wireless Networks - Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 115, no. 3, pp. 416 - 424, 2007.
- [4] E. Manzini, “Prometheus of the Everyday: The Ecology of the Artificial and the Designer’s Responsibility,” in *Discovering Design: Explorations in Design Studies*, R. Buchanan and V. Margolin, Eds. Chicago: The University of Chicago Press, 1995, pp. 220-221.
- [5] S. Black, V. Kapsali, J. Bougourd, and F. Geesin, “Fashion and function - factors affecting the design and use of protective clothing,” in *Textiles for Protection*, First Edit., R. A. Scott, Ed. Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2005, pp. 31 - 88.
- [6] S. Seymour, *Fashionable Technology: The Intersection of Design, Fashion, Science, and Technology*. New York: Springer Wien New York, 2008.
- [7] Y. Li and A. S. W. Wong, *Clothing Biosensory Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2006.
- [8] M. de A. Faro, *A Peregrinação de Um Sinal*. Gradiva Publicações, 1995, p. 10.
- [9] F. T. Ulaby, *Eletromagnetismo Para Engenheiros*. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Ltda., 2007.
- [10] R. M. Leão, *Rádio interferência proveniente de linhas de linhas de alta tensão*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, p. 14.
- [11] J. J. Carr, *Practical Antenna Handbook*, 4th ed. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2001.
- [12] F. de A. F. Tejo, “Impacto dos Campos Eletromagnéticos Ambientais sobre a Saúde e a Necessidade de Adotar-se o Princípio da Precaução,” in *Poluição Eletromagnética - Saúde pública meio ambiente, consumidor e cidadania: Impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares*, São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004, pp. 159-196.
- [13] Diversos, “Sistemas de Comunicações Móveis - Efeitos na Saúde Humana,” *Direcção Geral da Saúde*, Lisboa, pp. 1-50, 2007.

- [14] A. C. Dode and M. M. D. Leão, “Poluição Ambiental e Exposição Humana a Campos Eletromagnéticos: Ênfase nas Estações Radiobase de Telefonia Celular,” in *Poluição eletromagnética - Saúde pública, meio ambiente, consumidor e cidadania: Impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares*, São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004, pp. 121-138.
- [15] E. Lopes, “Poluição Eletromagnética,” *Poluição Eletromagnética e a Nossa Saúde*, 2012. [Online]. Available: <http://camposeletromagneticos.wordpress.com/>. [Accessed: 08-Jun-2012].
- [16] A. A. de Salles and C. R. Fernández, “O Impacto das Radiações não Ionizantes da Telefonia Móvel e o Princípio da Prevenção,” *Poluição Eletromagnética - Saúde pública meio ambiente, consumidor e cidadania: Impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares*, São Paulo, pp. 17-46, 2004.
- [17] V. Baranauskas, “Efeitos das radiações eletromagnéticas emitidas pela telefonia celular na saúde humana,” in *Poluição eletromagnética - Saúde pública, meio ambiente, consumidor e cidadania: Impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares*, São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004, pp. 247 - 256.
- [18] D. Machado, “Planeta Sustentável,” *Poluição eletromagnética*, Mar-2011. [Online]. Available: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/saude/poluicao-eletromagnetica-622671.shtml>.
- [19] M. A. Jensen and Y. Rahmat-samii, “EM Interaction of Handset Antennas and Human in Personal Communications,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, no. 1, pp. 7-17, 1995.
- [20] E. Svoboda, “Fresh Fears Over Cellphones,” *Neuroscience: A Swedish Study Links Mobile Phones to Brain Damage. In Rats, Anyway.*, 2004. [Online]. Available: <http://www.popsci.com/scitech/article/2004-02/fresh-fears-over-cellphones> . [Accessed: 29-May-2012].
- [21] *Resolução do Parlamento Europeu, de 2 de Abril de 2009, sobre as preocupações com a saúde associadas aos campos electromagnéticos*. 2009.
- [22] “Portaria n. 1421/2004,” *Diário da República*, vol. I série-B, no. 275, pp. 6834-6837, 2004.
- [23] S. J. Jones, *Fashion design - O manual do estilista*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2005, p. 24.
- [24] T. Fernández, “Estágio de Artista,” *História do Design*. [Online]. Available: http://www.estagiodeartista.pro.br/artedu/histodesign/4_b_bauhaus.htm. [Accessed: 01-Sep-2012].
- [25] J. Redstrom, “Towards user design? On the shift from object to user as the subject of design,” *Design Studies*, vol. 27, pp. 123-139, 2006.

- [26] B. Lawson, *How Designers Think - The design process demystified*, 4th ed. Oxford: Elsevier, 2005, p. 5.
- [27] M. L. A. C. Castro, “Da ética construtivista à ética sustentável: a trajetória do design.” [Online]. Available: <http://br.monografias.com/trabalhos915/etica-construtivista-design/etica-construtivista-design2.shtml>.
- [28] R. Nascimento, “Taikanam,” *Popka Lab*, 2008. [Online]. Available: <http://www.popkalab.com/th.html>. [Accessed: 03-Sep-2012].
- [29] R. Nascimento, “e-ansã,” *Popka Lab*, 2010. [Online]. Available: <http://www.popkalab.com/eansa.html>. [Accessed: 03-Sep-2012].
- [30] S. E. Braddock and M. O’Mahony, *Techno Textile - Revolutionary Fabrics for Fashion and Design*. New York: Thames and Hudson, 1998, p. 126.
- [31] “Vito di Bari.” [Online]. Available: <http://vitodibari.com/pt/designer-inovao/o2-pram>. [Accessed: 13-Jul-2012].
- [32] “Products,” *Electro Smog Shielding*. [Online]. Available: http://www.electrosmogshielding.co.uk/product.asp?P_ID=555&CAT_ID=124.
- [33] “Un jeans per Lapo e Diesel,” *Vogue IT*. [Online]. Available: 2 <http://www.vogue.it/en/magazine/daily-news/2010/09/un-jeans-per-lapo-e-diesel>. [Accessed: 12-Jul-2012].
- [34] “Yanko Design.” [Online]. Available: <http://www.yankodesign.com/2008/12/08/umbrella-lights-the-way/>. [Accessed: 13-Jul-2012].
- [35] E. M. Schutt, “Camiseta armazena energia vinda do som,” *Tec Mundo*, 2012. [Online]. Available: <http://www.tecmundo.com.br/tecnologia/18880-camiseta-armazena-energia-vinda-do-som.htm>. [Accessed: 03-Sep-2012].
- [36] “Como vão ser as suas roupas no futuro?,” *Revista Galileu*, 2012. [Online]. Available: <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI238640-17770,00-COMO+VAO+SER+AS+ROUPAS+NO+FUTURO.html>.
- [37] T. F. Kennedy, P. W. Fink, A. W. Chu, N. J. Champagne, G. Y. Lin, and M. A. Khayat, “Body-Worn E-Textile Antennas: The Good, the Low-Mass, and the Conformal,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 4, pp. 910-918, 2009.
- [38] I. Locher, M. Klemm, T. Kirstein, and G. Troster, “Design and Characterization of Purely Textile Patch Antennas,” *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 29, no. 4, pp. 777-788, 2006.
- [39] B. Gupta, S. Sankaralingam, and S. Dhar, “Development of Wearable and Implantable Antennas in the Last Decade: A Review,” *IEEE Conference Publications*, pp. 251-267, 2010.

- [40] S. Brebels, J. Ryckaert, C. Boris, S. Donnay, W. De Raedt, E. Beyne, and R. P. Mertens, "SOP Integration and Codesign of Antennas," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 27, no. 2, pp. 341-351, 2004.
- [41] C. Hertleer, A. Tronquo, H. Rogier, and L. Van Langenhove, "The Use of Textile Materials to Design Wearable Microstrip Patch Antennas," *Textile Research Journal*, vol. 78, no. 8, pp. 651-658, Aug. 2008.
- [42] C. Hertleer, H. Rogier, S. Member, L. Vallozzi, and L. V. Langenhove, "A Textile Antenna for Off-Body Communication Integrated Into Protective Clothing for Firefighters," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 4, pp. 919-925, 2009.
- [43] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. Wiley Interscience, 2005.
- [44] P. Salonen, M. Keskilammi, J. Rantanen, and L. Sydanheimo, "A Novel Bluetooth Antenna on Flexible Substrate for Smart Clothing," *IEEE Conference Publications*, vol. 2, pp. 789-794, 2001.
- [45] Y. Bayram, Y. Zhou, B. S. Shim, S. Xu, J. Zhu, N. A. Kotov, and J. L. Volakis, "E-Textile Conductors and Polymer Composites for Conformal Lightweight Antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 8, pp. 2732-2736, 2010.
- [46] P. Salonen, Y. Rahmat-samii, M. Schafhth, and M. Kivikoski, "Effect of Textile Materials on Wearable Antenna Performance: A Case Study of GPS Antenna," *IEEE Conference Publications*, vol. 1, no. June, pp. 459-462, 2004.
- [47] P. Salonen and H. Hurme, "A Novel Fabric WLAN Antenna for Wearable applications," *IEEE Conference Publications*, vol. 2, pp. 100-103, 2003.
- [48] S. Zhu and R. Langley, "Dual-Band Wearable Antennas Over EBG Substrate," *Electronics Letters*, vol. 43, no. 3, 2007.
- [49] J. C. G. Matthews and G. Pettitt, "Development of Flexible, Wearable Antennas," *IEEE Conference Publications*, pp. 273-277, 2009.
- [50] A. Tronquo, H. Rogier, C. Hertleer, and L. V. Langenhove, "Applying Textile Materials for the Design of Antennas for Wireless Body Area Networks," *IEEE Conference Publications*, no. October, 2006.
- [51] R. Shaw, B. Long, D. Werner, and A. Gavrin, "The characterization of conductive textile materials intended for radio frequency application," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 2, pp. 381-389, 2008.
- [52] O. Yuehui and W. J. Chappell, "High frequency properties of electrotexiles for wearable antenna applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 2, pp. 381-389, 2008.

- [53] D. Cottet, J. Gryzb, T. Kirstein, and G. Troster, "Electrical characterization of textile transmission lines," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 26, no. 2, pp. 182-190, 2003.
- [54] P. Salonen, Y. Rahmat-samii, H. Hurme, and M. Kivikoski, "Effect of conductive material on wearable antenna performance: a case study of WLAN antennas," *IEEE Conference Publications*, vol. 1, pp. 455-458, 2004.
- [55] Y. Ouyang, E. Karayianni, and W. J. Chappell, "Effect of Fabric Patterns on Electrotexile Patch Antennas," no. 1, pp. 246-249, 2005.
- [56] W. E. Morton and W. S. Hearle, *Physical properties of textile fibres*, Fourth Edi. Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2008.
- [57] D. de P. L. Brandão, *Tecnologia da Electrecidade: Materiais Usados em Electrotecnia*. Lisbon: Fundação Calouste Gulbenkian, 1983.
- [58] K. Bal and V. K. Kothari, "Measurement of Dielectric Properties of Textile Materials and Their Applications," *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, vol. 34, no. June, pp. 191-199, 2009.
- [59] S. Sankaralingam and G. Bhaskar, "Determination of Dielectric Constant of Fabric Materials and Their Use as Substrates for Design and Development of Antennas for Wearable Applications," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, no. 12, pp. 3122-3130, 2010.
- [60] S. W. Harmer, N. Rezgui, N. Bowring, Z. Luklinska, and G. Ren, "Determination of the Complex Permittivity of Textiles and Leather in the 14-40 GHz, mm wave band using a Free-Wave Transmittance Only Method," *IET Microwaves, Antenas & Propagation*, vol. 2, no. 6, pp. 606-614, 2008.
- [61] A. Moretti, "Estudo do Brim Santista Visando Aplicações em Antenas têxteis (Master Thesis)," Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- [62] J. Baker-Jarvis, M. D. Janezic, and D. C. DeGroot, "High-Frequency Dielectric Measurements," *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, no. April, pp. 24-31, 2010.
- [63] A. Kuasne, "Apostila de Fibras têxteis." Araranguá, 2008.
- [64] C. Hertleer, A. V. Laere, H. Rogier, and L. V. Langenhove, "Influence of Relative Humidity on Textile Antenna Performance," *Textile Research Journal*, no. Setembro, pp. 1-9, 2009.
- [65] J. L. Volakis and K. Gullu, "Novel Materials for RF Devices," *IEEE Conference Publications*, no. 1, pp. 1701-1704, Jun. 2007.
- [66] A. Canteri, F. Avancini, J. D. Neves, and L. Crespim, "Resistência a penetração/aborsção de água." Goioerê, pp. 1-40, 200AD.

- [67] F. Declercq, H. Rogier, and C. Hertleer, "Permittivity and Loss Tangent Characterization for Garment Antennas Based on a New Matrix-Pencil Two-Line Method," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 8, pp. 2548-2554, 2008.
- [68] Mendes, Carlos. "Antenas", *Sebenta do Mestrado em Engenharia de Eletrônica e Telecomunicações*, ISEL, Lisboa, 2009.
- [69] "WGSN Fashion Trend Forecasting & Analysis." [Online]. Available: <http://www.wgsn.com/>. [Accessed: 10-Mai-2012].