

Poluição electromagnética e os novos desafios em moda: integração de antenas em vestuário

Caroline Loss

Universidade da Beira Interior

caroline.loss@hotmail.com

Rita Salvado

Universidade da Beira Interior

rita.salvado@ubi.pt

Pedro Pinho

Instituto de Telecomunicações, Campus Universitário de Santiago

ptpinho@av.it.pt

ABSTRACT

The recent technological developments made electronic devices become imperative and indispensable, being present in our daily routines, all over the world. But, the continuous exposition of people to the electromagnetic radiation might cause severe illness. Electro smog is the invisible electromagnetic radiation that results from the usage of electric equipment and wireless technologies. Some studies present electro sensibility as a contemporary illness affecting more and more people.

This paper analyses some of the challenges this reality puts to fashion design.

Interpreting the global curiosity and search for technology, without forgetting the wellbeing and good health of the users, some designers have been looking for transforming the art of fashion in scientific development. In this sense, the generation of cloths will be able to monitoring user's signals, ambience's signals and to communicate data to a remote control unit. These new functionalities require a textile antenna that is integrated in the cloth, in an unobtrusive way, without interfere on user's movements.

Thus, wearable antennas make cloth be part of the communication system of the electronic devices that are already in the routine of the users. These antennas are embedded in

pieces of cloth and are the key to transform the electronic equipment less invasive and more discrete.

This paper presents a survey on the development of wearable antennas to integrate in smart cloths and on the textile materials that have been used for their development. In plus of the choice of the materials, their assemblage and superposition while constructing the antennas are also critical for the good behaviour of the antenna. Therefore, this paper also presents a short revision on guidelines to construct textile antennas.

Finally, some conclusions are taken about this new challenge fashion designers have: to develop new products that assure protection against electromagnetic radiation, and/or capture alternative energies.

Key-words: Electrosmog, textile antennas, smart clothing, energy harvesting

RESUMO

Com o desenvolvimento tecnológico, os dispositivos electrónicos portáteis tornaram-se indispensáveis e estão presentes em diversas atividades de rotina das pessoas, no mundo inteiro. Mas a exposição constante dos seres humanos à radiação dos campos electromagnéticos pode infelizmente implicar riscos e males à saúde. Por poluição electromagnética (*electrosmog*) entende-se a radiação electromagnética invisível, resultante da utilização de equipamentos eléctricos e de tecnologias sem fios. Alguns estudos desenvolvidos apontam a electrosensibilidade como uma patologia que afecta cada vez mais pessoas.

Este artigo analisa alguns desafios que esta realidade coloca ao design de moda.

Interpretando a demanda do desejo tecnológico, mas pensando no bem estar e na saúde dos consumidores, alguns designers já começaram a interessar-se por transformar a arte da moda em desenvolvimento científico. Neste sentido, a nova geração de peças de vestuário será capaz de monitorizar sinais vitais do utilizador e das condições ambientais e de comunicar dados com uma unidade de controlo remoto. Estas novas funcionalidades requerem uma antena têxtil discretamente integrada na roupa, sem perturbar o movimento do utilizador.

As antenas vestíveis significam assim o elo de ligação para tornar a roupa parte integrante das propostas de comunicação, uma vez que os aparelhos electrónicos fazem parte da rotina das pessoas. Estas antenas têxteis embebidas no vestuário são a chave para o desafio de tornar os aparelhos menos invasivos e mais discretos.

Este artigo apresenta uma revisão do desenvolvimento de antenas flexíveis integradas no vestuário inteligente e dos materiais têxteis usados para o seu desenvolvimento. Para além da escolha dos materiais, o processo de montagem da antena também é crítico para o bom desempenho da antena. Assim, este artigo apresenta também uma breve revisão de orientações para a construção das antenas têxteis.

Finalmente, são tecidas as principais conclusões sobre um novo desafio que se coloca aos designers: criar novos produtos que assegurem proteção contra a radiação electromagnética e/ou captação de energias alternativas.

Palavras-chave: Electromog, antenas têxteis, vestuário inteligente, recolha de energia

1. INTRODUÇÃO

As novas tecnologias e o desenvolvimento económico e social trouxeram consigo algumas contradições evidentes. A dependência cada vez maior da moderna tecnologia fez com que toda a vida na Terra já esteja imersa em um verdadeiro mar de campos eletromagnéticos (CEM) tecnológicos, emanados de linhas de transmissão de alta tensão, fornos a micro-ondas, antenas de rádio, TV e de telefonia móvel (estações rádio base e terminais portáteis) e muitas outras fontes similares.

Por poluição electromagnética (electromog) entende-se a radiação electromagnética invisível, resultante da utilização de equipamentos eléctricos e de tecnologias sem fios. Apesar de as ondas de radiofrequência serem usadas há mais de 50 anos para a transmissão de rádio e TV sem causar evidentes malefícios na saúde pública, a actual difusão dos telemóveis tem aumentado a preocupação com a saúde das pessoas expostas às ondas de radiofrequência electromagnéticas. De facto, o aparelho de telemóvel opera muito perto do corpo humano e as antenas estão largamente disseminadas de forma a assegurar a cobertura de um vasto território. Em 2006, um grupo de trabalho da Organização Mundial de Saúde concluiu não haver dados científicos consistentes que permitissem afirmar que a exposição aos níveis de radiofrequência legais resultantes da utilização dos telemóveis fosse maléfica para a saúde das pessoas [1]. Mas esta conclusão não é consensual e a dúvida persiste.

Este artigo analisa alguns desafios que esta realidade coloca ao design de moda.

Uma resposta directa a este desafio é a criação de vestuário e de artigos de protecção à radiação electromagnética. Um exemplo comercial são os jeans da Diesel, em denim composto de 1% de carbono e 99% de algodão [2] apresentados, entre outras características, como sendo protectores das ondas electromagnéticas de computadores e telemóveis.

Uma outra possível abordagem é a integração de antenas em vestuário e artigos têxteis, que permitam recolher energia a partir da radiação electromagnética que será posteriormente utilizada na alimentação de sensores para monitorização de saúde e bem-estar.

Em termos de mercado, o sucesso das empresas de moda passa por satisfazer e exceder as expectativas dos consumidores. E cada vez mais, os consumidores exigem um maior desempenho funcional, conforto, tecnologia e informação, que acrescentam valor aos produtos de vestuário. Entender as necessidades do consumidor nesta realidade de novas tecnologias e de desenvolvimento económico e social é essencial para a indústria da moda [3].

2. ELECTROSMOG

A espantosa evolução da humanidade nos últimos anos trouxe indiscutíveis benefícios para a vida moderna no sistema de comunicação mundial. O ser humano moderno, principalmente em virtude do mercado de massa gerado pelo poder do marketing e dos meios de indução ao consumo de novos serviços e produtos, encontra-se cada vez mais dependente das facilidades trazidas pelos novos produtos electrónicos e pelas novas tecnologias [4].

Este fenómeno tecnológico veio, infelizmente, acompanhado de riscos e males à humanidade, perante a exposição constante à radiação e seus efeitos aparentemente nocivos, trazendo enorme impacto também ao meio ambiente.

“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 electromagnéticos em todos os ambientes. Isto é, pessoas, casas, edifícios, prédios comerciais e industriais estão sujeitos a irradiações electromagnéticas provenientes das linhas de transmissão de alta tensão, quando construídos nas proximidades.” [5]

Os campos eléctrico e magnético são, na verdade, abstrações dos cientistas, para melhor compreender a ação à distância da electricidade e do magnetismo, sem a interveniência de nenhum material ou meio especial. Se, imaginarmos que uma partícula eletricamente carregada está em movimento, isto é, se a sua posição no espaço varia com o tempo, então temos uma corrente eléctrica. Nesta situação, surge um campo magnético em torno dela, além do campo eléctrico anteriormente existente devido à simples presença da partícula carregada.

Assim, quando as partículas carregadas estão em movimento, os dois campos passam a ser relacionados e sua ação combinada é conhecida como campo electromagnético (CEM) [4]. Os CEMs são algumas vezes referidos como radiação electromagnética (REM), quando a

sua frequência é igual ou superior a 1 quilohertz (1 kHz = 1.000 Hz). Os CEMs são classificados de acordo com sua frequência, f , ou comprimento de onda, λ ($\lambda = c/f$, em que $c = 3 \times 10^8$ m/s é a velocidade da luz no espaço livre), numa escala conhecida como espectro eletromagnético, que varre uma gama muito ampla de frequências [4].

Dentro do espectro electromagnético as radiações são divididas em duas faixas: as ionizantes, que são aquelas que alteram a estrutura da matéria e não-ionizantes, que por sua vez não alteram a estrutura da matéria. Na faixa das radiações não-ionizantes, os CEMs ocupam os níveis de frequência de 0 a 300GHz, onde as principais fontes em baixa frequência (de 0 Hz até 300 kHz) são as linhas de transmissões e estações distribuidora/transformadora de energia elétrica. E em alta frequência (de 300kHz até 300 GHz) são as estações-rádio-base de telefonia móvel e torres de antena de rádio e TV.

O facto de estarmos constantemente expostos aos CEM, e de as radiações não-ionizantes serem consideradas um perigo para a saúde dos seres humanos, é vulgarmente denominado de “electrosmog”, “eletricidade suja” ou poluição eletromagnética.

2.1. Riscos para a saúde devido à exposição aos CEM

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

O Dr. Samuel Milham [6], explica nos que este recente aumento explosivo na radiação de RF, especialmente em áreas urbanas, podia constituir uma epidemia do século XX, e que no século XXI já poderíamos observar uma epidemia de morbidade 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 bioelétricos, pois do ponto de vista elétrico, nosso corpo exhibe estruturas de alta condutividade iónica e electrónica, como as redes neurais, o líquido cefalorraquidiano e até mesmo os fluidos sanguíneos. Para além disso, as pessoas demonstram serem boas antenas receptoras, absorvendo 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.

Segundo [7], o nosso cérebro e coração são internamente regulados por débeis sinais elétricos, fazendo com que a constante exposição às radiações dos campos eletromagnéticos

tenham uma interação com o nosso processo biológico, provocando sérias alterações. Além disso, como nos explica [4], “(...) se houver coincidência da frequência de radiação absorvida com alguma frequência de vibração própria de algum órgão, tecido, ou fluido do organismo humano, os resultados podem ser catastróficos (...)”.

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 de termo-regulação, sendo o principal a circulação sanguínea.

“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.” [4]

Para além da hipertermia, a exposição constante aos CEM pode desencadear outras patologias. Como já citado anteriormente, como as radiações do CEM são genotóxicas e podem causar a alteração do DNA de células fragilizadas, o que combinado com uma deficiência do sistema imunológico pode resultar em doenças graves como o cancro.

Como nos diz [4], 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. O estudo realizado na Universidade da Califórnia [8], 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 [9], 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.

Para além desta preocupação com a exposição das pessoas que estão a falar ao telemóvel¹, 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 radiações² 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 *pacemaker*, as quais funcionam como boas antenas absorvedoras de radiação. Como apresentado em [4], 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 *pacemaker*, apesar de terem um dispositivo de blindagem contra estas interferências, a mesma não pode ser completa devido as próprias características do aparelho. Além das válvulas e *pacemaker* ainda devemos considerar os riscos em próteses metálicas, as quais interagem com a radiação eletromagnética podendo induzir a rejeição das mesmas devido a processos electro-bioquímicos.

Além destas conhecidas patologias, foi recentemente descoberto outro fenómeno que está afetando a saúde das pessoas mais sensíveis, a chamada Eletrosensibilidade (ES). Esta, aumenta exponencialmente através dos anos, podendo atingir 50% da população mundial até 2017, como nos explica [6].

A ES apresenta sintomas que podem variar consoante a natureza da pessoa mas, segundo [7] 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 [7] 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).

¹ Quando se estabelece a ligação, o valor da radiação atinge facilmente mais do que $20.000\mu\text{W}/\text{m}^2$.

² na ordem dos 2 a $4\mu\text{W}/\text{m}^2$. Nos modernos smartphones, este valor decai para cerca de 50% menos radiação.

Sobre este assunto, pesquisas exaustivas vêm sendo feitas nos últimos tempos pelo Prof. Olle Johansson, do Neuroconscience Department do Karolinska Institute situado em Estocolmo, Suécia, que afirma:

“A ES resulta por um dano de irradiação que provoca mutações das células, muito parecidas com as verificadas em tecidos submetidos a radiações de UV e radiações ionizantes”.

No ano de 2009, através do esforço da Eurodeputada Frédérique Ries, 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”.

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 excessivas as 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 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 do entorno 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 sobre a saúde da exposição a CEM poderá produzir um grande impacto na saúde pública”.

2.2. Trabalhos de design relacionados com electrosmog e recolha de energia

Os dispositivos electrónicos portáteis tornaram-se essenciais e estão presentes em diversas atividades praticadas na rotina das pessoas do mundo todo. Perante esta enorme demanda, alguns designers já se começaram a interessar por transformar a arte da moda em ciência pura. Procuram misturar química orgânica, nanotecnologia e eletricidade com a moda, buscando alternativas que possibilitem recarregar estes dispositivos com energia renovável,

causando menos impacto no meio ambiente, roupas que possam gerar eletricidade, limpar o ar, ou até mesmo proteger a saúde dos seres humanos.

Em 2002, dois engenheiros americanos da Universidade Virgínia Tech, Mark Jones e Tom Martin, construíram um tecido chamado STRETCH, com componentes electrónicos embutidos, voltados tanto para o uso militar quanto para o uso civil.

Os sensores e circuitos electrónicos construídos entre as fibras do tecido comunicam entre si para criar padrões de informação, tendo como papel principal o sensoriamento dos sons distantes de veículos inimigos em movimento. Os militares já possuem sistemas de detecção de sons baseados em ondas de rádio, mas este tipo de comunicação revela ao adversário a localização da unidade militar. Ao contrário, os novos dispositivos integrados no têxtil não produzem ondas detectáveis e ainda consomem menos energia do que os sistemas de rádio. A detecção de sons é apenas uma entre a infinidade de aplicações possíveis para este novo tecido. Por exemplo, basta modificar os sensores e ele passa a detectar agentes químicos ou pode até captar sinais de satélites.

Em 2008 [10], o designer Sang-Kyun Park criou um guarda-chuva um pouco diferente. Chamado de LightDrops, este acessório feito a partir de um material chamado polivinilideno (PDVF), que é uma membrana condutora, acende LEDs transformando a energia potencial das gotas de chuva que fluem na superfície do guarda-chuva em energia eléctrica que alimenta os LEDs embutidos.

Neste mesmo ano ainda surgiu o projecto conceptual de Ebru Kurbak, Ricardo Nascimento e Fabiana Shizue, uma parceria de *Ogaki Japan* e da *University of Arts and Industrial Design* da Áustria, intitulado “Taiknam Hat”. Este projecto baseia-se num chapéu cinético que reage com as mudanças dos níveis das radiações electromagnéticas, tentando materializar o espaço imaterial das ondas eletromagnéticas, com o simples objectivo de sensibilizar a consciência social para o aumento da poluição electromagnética.

Os materiais piezoeléctricos também são uma novidade com diversas aplicações a serem exploradas. Em 2011 [11] a operadora telefónica francesa - Orange - desenvolveu o protótipo de uma t-shirt para captar e transformar ondas sonoras em cargas eléctricas, que usa um filme piezoeléctrico 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.

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 bebê capaz de proteger as crianças contra os altos níveis de poluição ambiental, [12]. 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 bebê, o O2 Pram tem um visor eletrônico 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 feito 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.

Recentemente, já em 2012, a equipe de investigação do Instituto de Tecnologia da Geórgia descobriu uma maneira de capturar e armazenar a energia eletromagnética dissipada de rádios, transmissores de televisão, redes de celulares e sistemas de comunicação via satélite, [13]. Usando uma grande antena de alta qualidade, esta equipe conseguiu capturar energia eletromagnética em frequências de 100 MHz até 5 GHz. Após esta energia ser capturada, para que estes novos dispositivos possam ser utilizados em etiquetas eletrônicas, equipamentos de identificação e monitoramento, é preciso criar antenas de papel ou polímeros flexíveis, ou criar uma fonte de potência de corrente contínua (DC), que pode ser feita através de impressoras de tinta e um sistema de nano partículas de prata.

Também no corrente ano 2012 a revista brasileira Galileu [14], 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.

Outra referência interessante é a empresa ElectroSmogShielding , que desenvolveu peças de blindagem eletromagnética para grávidas. Estas roupas, feitas com tecido composto de 34% poliéster, 41% algodão penteado e 25% fibra de metal de alta blindagem, atingiu uma eficácia de 30 a 40 dB, protegendo a gestante de 98% das ondas eletromagnéticas prejudiciais, excluindo qualquer substância prejudicial e apresentando também características anti-UVA, anti-estática e sendo resistente a lavagem.

3. ANTENAS TÊXTEIS FLEXÍVEIS

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

Como referido anteriormente, toda a vida na Terra já se encontra imersa em um verdadeiro mar de campos electromagnéticos (CEM) tecnológicos, emanados de linhas de transmissão de alta tensão, fornos a micro-ondas, antenas de rádio, TV e de telefonia celular (estações rádio base e terminais portáteis) e muitas outras fontes similares.

Além disso, num futuro não muito distante, o ser humano poderá conter sobre si uma gama grande de dispositivos e sensores, embebidos na roupa. 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. Já no domínio militar, com a miniaturização dos sistemas de monitorização, aumenta o desejo de reduzir as cargas sobre os militares.

A nova geração de peças de vestuário será capaz realizar esta monitorização contínua dos sinais vitais do utilizador e das condições ambientais. A comunicação sem fio dos dados adquiridos a uma unidade de controlo nas proximidades requer uma antena têxtil discretamente integrada na roupa, sem perturbar o movimento do utilizador. Com esta ascensão tecnológica, as antenas vestíveis significam o elo de ligação para tornar a roupa parte integrante das propostas de comunicação, uma vez que os aparelhos electrónicos fazem parte da rotina das pessoas. Estas antenas embebidas nos têxteis são a chave para o desafio de tornar os aparelhos menos invasivos e mais discretos.

Para a obtenção de bons resultados, estas antenas precisam ser pouco espessas, leves, de fácil manutenção e integração nos circuitos RF, robustas, e além disso, devem ser de baixo custo de fabricação e, respectivamente de comercialização. [15][16]

Para que isso ocorra, existem alguns requisitos específicos para a construção das antenas vestíveis, sendo eles: estrutura planar, materiais condutores flexíveis para o *patch* e o *ground plane* e, materiais dieléctricos flexíveis para o substrato [17]. As antenas planares são as mais recomendadas para esta função, pois têm uma estrutura que se integra bem no vestuário sem que haja perda de mobilidade por parte do usuário.

Deve-se ainda levar em consideração que as características dos materiais são cruciais para o comportamento da antena. Por exemplo, a permitividade e a espessura do material utilizado no substrato dielétrico pode determinar a largura de banda e o desempenho da eficiência da antena planar [16]. Além disso, a condutividade do *patch* e do *ground plane* é um importante fator na eficiência da antena, devendo ser o mais elevada possível. A caracterização das propriedades elétricas e electromagnéticas dos materiais têxteis é assim essencial para a concepção de uma antena. As propriedades elétricas dos tecidos condutores devem ser caracterizadas com precisão e muitas vezes são já dadas pelos produtores [18]. No entanto, menos informação é encontrada na caracterização das propriedades electromagnéticas dos têxteis dielétricos.

O parâmetro de avaliação para a escolha de um bom material para o substrato dielétrico é a permitividade (ϵ). Alguns pesquisadores têm estudado e analisado as propriedades dielétricas dos materiais têxteis [19][20][21], materiais que são rugosos, porosos e heterogêneos, e por terem ar entre as fibras, torna-se ainda mais difícil a sua caracterização. Além disso, a capacidade de as fibras para absorver a humidade deve também ser considerada para a caracterização do comportamento dielétrico de têxteis. Assim, a medição precisa das características dielétricas dos têxteis é um desafio e várias técnicas experimentais têm sido utilizados para esse fim [17] [16] [22] [23].

3.1. Breve estado da arte

Muitos autores têm proposto antenas têxteis eficientes para a integração em roupa inteligente e para uso junto ou sobre o corpo [17] [22] [24] [25] [26] [27] [28].

Em 2001, Pekka Salonen *et al* [22] 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.

Em 2003 [26], apresentou uma antena WLAN têxtil (rede de área local sem fio), do tipo microstrip rectangular, para aplicações comerciais em vestuário inteligente, operando para Bluetooth. As partes condutoras foram feitas de tecido de malha de cobre e do substrato dielétrico era um convencional tecido de lã de muito baixo custo, com 3 mm de espessura.

Continuando seu estudo, Pekka Salonen *et al* [25] 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 - Fleece, um tecido 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.

Em 2006, Locher *et al* [17], 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 eléctrica de superfície ser mais homogênea do que a do tecido 1). Para o substrato dieléctrico, 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 (*spacer 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.

No mesmo ano, Tronquo *et al* [29] apresentaram uma Antena de Anel Rectangular 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 *ground plane* foi usado um tecido condutor chamado *Flectron*, que é um tecido fino de cobre níquelado com baixa resistência superficial, menor que 0,1 Ω / sq. Para o substrato dieléctrico usaram um tecido de lã de 2,56 mm de espessura.

Em 2007, Zhu e Langley [27] 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 dieléctrico era um feltro fino, com 1,1 mm de espessura.

Matthews e Pettitt apresentaram, em 2009 [28], 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 directamente 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.

A Tabela 1 resume as principais características dos materiais têxteis que foram utilizados para desenvolver antenas flexíveis.

Tabela 1. Quadro comparativo dos materiais têxteis utilizados no design de antenas flexíveis

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

3.2. 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 os têxteis são materiais muito deformáveis. Assim,

a montagem do *patch* condutor com o substrato dielétrico é crítica [17]. Muitos autores têm vindo tentando melhorar os processos de fabricação [17][22][30] [18][27] das antenas têxteis e algumas orientações podem ser listadas:

1) As dimensões geométricas devem permanecer estáveis durante a conexão do *patch* com substrato dielétrico; a estabilização mecânica de ambos os materiais é essencial para preservar as características desejadas na antena [17].

2) A técnica para conectar as várias camadas não deve prejudicar as propriedades eléctricas do *patch*, nomeadamente a sua resistência eléctrica de superfície. A montagem recorrendo a entretelas ou tecidos condutores com uma face adesiva tem demonstrado bons resultados [17] [29]. Este processo de fixação das camadas sobrepostas é muito simples de realizar por uma simples operação de engomar.

As 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, o ponto passa através de todos os materiais: o *patch*, em seguida o substrato e depois o *ground plane*, o que pode causar curto-circuitos entre eles. Em [17] Locher *et al* relatam que a agulha de costura puxa fibras condutoras do *patch* através do substrato, criando um curto-circuito entre o *patch* e o *ground plane*.

3) A estabilidade geométrica da antena pode ser alcançado se, pelo menos, um componente não for deformável. Por exemplo, a ligação com entretela de um *patch* deformável, tal como uma malha condutora, com um substrato menos deformável, resulta numa estrutura estável [17] [30].

4. Conclusões

O desenvolvimento tecnológico e a larga disseminação e utilização de equipamentos electrónicos muito próximos do corpo humano podem causar alguns malefícios à saúde do utilizador. A Electrosensibilidade é uma patologia conhecida hoje em dia que resulta desta realidade. Este contexto e ambiente social coloca novos desafios à moda.

Por outro lado, os atuais consumidores de moda estão cada vez mais exigentes em relação às funcionalidades do vestuário. A nova geração de peças de roupas será assim capaz de monitorar sinais vitais, comunicar recebendo e transmitindo dados e interagir com o utilizador e o meio ambiente. As antenas vestíveis são o veículo para uma integração discreta e não invasiva de sistemas que desempenhem estas funções. As antenas têxteis são assim um elo de ligação entre o vestuário e os sistemas de comunicação.

O desenvolvimento de antenas têxteis e a sua integração em vestuário requer o conhecimento aprofundado dos materiais têxteis e implica um trabalho multidisciplinar. Mas é uma área que abre novos horizontes à indústria têxtil e da moda.

Como conclusão, o designer de moda na sociedade contemporânea, tal como as suas criações, deve responder ao anseio do consumidor, promovendo proteção, interatividade, sustentabilidade e inovação conceptual, envolvendo a criatividade nas áreas tecnológicas, científicas e da saúde.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao FCT/MCTES pelo financiamento do projecto PTDC/EEA-TEL/ 122681/2010 - PROENERGY-WSN - Prototypes for Efficient Energy Self-Sustainable Wireless Sensor Networks.

6. Referências

- [1] P. A. Valberg, E. Van Deventer, and M. H. Rapacholli, “Health Perspectives,” *Workgroup Report: Base Stations and Wireless Networks—Radiofrequency (RF) Exposures and Health Consequences*. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.9633> . [Accessed: 13-Jul-2012].
- [2] “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].
- [3] Y. Li and A. S. W. Wong, *Clothing Biosensory Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2006.
- [4] Diversos, *Poluição Eletromagnética - Saúde pública meio ambiente, consumidor e cidadania: Impactos das radiações das antenas e dos aparelhos celulares*, vol. 6, no. 2. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.
- [5] R. M. Leão, *Rádio interferência proveniente de linhas de linhas de alta tensão*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008, p. 14.
- [6] S. Milham, *Dirty Electricity: Electrification and the Diseases of Civilization*. New York: iUniverse, Inc., 2010.
- [7] E. Lopes, “Poluição Eletromagnética,” *Poluição Eletromagnética e a Nossa Saúde*, 2012. [Online]. Available: <http://camposeletromagneticos.wordpress.com/>. [Accessed: 08-Jun-2012].
- [8] 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.
- [9] 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].
- [10] “Yanko Design.” [Online]. Available: <http://www.yankodesign.com/2008/12/08/umbrella-lights-the-way/>. [Accessed: 13-Jul-2012].

- [11] 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].
- [12] "Vito di Bari." [Online]. Available: <http://vitodibari.com/pt/designer-inovao/o2-pram>. [Accessed: 13-Jul-2012].
- [13] "Energia eficiente." [Online]. Available: <http://www.energiaeficiente.com.br/2008/12/19/energia-da-chuva/>. [Accessed: 14-Jul-2012].
- [14] "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>.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] I. Locher, M. Klemm, T. Kirstein, and G. Tröster, "Design and Characterization of Purely Textile Patch Antennas," *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, vol. 29, no. 4, pp. 777–788, 2006.
- [18] "Less EMF Inc." [Online]. Available: <http://www.lessemf.com/>. [Accessed: 11-Jul-2011].
- [19] 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.
- [20] W. E. Morton and W. S. Hearle, *Physical properties of textile fibres*, Fourth Edi. Cambridge: Woodhead Publishing in Textiles, 2008.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] P. Salonen and H. Hurme, "A Novel Fabric WLAN Antenna for Wearable applications," *IEEE Conference Publications*, vol. 2, pp. 100–103, 2003.
- [27] S. Zhu and R. Langley, "Dual-Band Wearable Antennas Over EBG Substrate," *Electronics Letters*, vol. 43, no. 3, 2007.
- [28] J. C. G. Matthews and G. Pettitt, "Development of Flexible, Wearable Antennas," *IEEE Conference Publications*, pp. 273–277, 2009.

- [29] 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.
- [30] 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.

ISBN: 978-989-20-5336-3