

Tecnologias Emergentes e Segurança e Defesa: os Metamateriais no Contexto Português

Maria João M. Martins

Licenciada e Doutorada em Engenharia Eletrotécnica pelo Instituto Superior Técnico (IST), em Lisboa, onde foi docente até 2012, atualmente é professora na Academia Militar. Foi Professora convidada nas Universidades de Karlsruhe, Alemanha, e na Université de Rennes I, em França. Foi Expert-evaluator da Comissão Europeia no 5.º e 6.º Programas-quadro, nos Programas IST, GROWTH e Marie-Curie. É especialista no domínio da radiação e meios complexos onde tem sido autora de vários artigos.

Fernando José Vicente Freire

Coronel do Exército (reserva). Investigador não residente do IDN. Investigador do IUM. Docente da Academia Militar e ISCEM. Mestre em Gestão da Informação nas Organizações.

Resumo

As futuras aplicações dos metamateriais, uma tecnologia emergente, permitem antever grande impacto na segurança e defesa e também na economia. Portugal, se tiver uma orientação estratégica, poderá também colher os seus benefícios.

Os metamateriais são materiais fabricados pelo homem que têm uma característica impossível de encontrar em materiais que ocorrem na natureza, *i.e.*, apresentam um índice de refração negativo, permitindo aplicações inovadoras como a construção de superlentes com resoluções da ordem dos nanómetros e a possibilidade de fabricar “mantos de invisibilidade”, tornando objetos invisíveis ao radar e possivelmente também na banda do visível. As pesquisas científicas relacionadas com os metamateriais têm merecido atenção e investimento de governos e empresas de países mais desenvolvidos dadas as incríveis tecnologias que permitem viabilizar. Além dos mantos de invisibilidade que potenciam inúmeras capacidades ao “mundo da defesa”, estas permitem, entre outras, o desenvolvimento de sensores com enorme sensibilidade, antenas mais diretas e com menor dimensão e células fotovoltaicas mais eficientes. Esta tecnologia levanta questões à volta de segurança e defesa quanto ao seu potencial e emprego.

Abstract

Security, Defence and Emerging Technologies: Metamaterials in the Portuguese Context

Great impact on security and defence as well as in economics fields is expected from future applications of metamaterials, an emergent technology. If Portugal could create a strategic orientation it could also receive some benefits from this technology.

*Metamaterials are man-made materials which have characteristics impossible to find in natural materials, *i.e.* they present a negative refractive index, which allows applications such as the Pendry super lenses with resolutions of the order of the nanometer, and the possibility to fabricate invisibility cloaks, which can make objects invisible to radars and possibly even in the visible part of the spectrum. Scientific research related to metamaterials has received a lot of attention and investment from governments and private companies of developed countries due to the possibilities offered by these technologies. The invisibility cloaks, also allow the design of sensors with increased accuracy, antennas with higher directivity and smaller dimensions and photovoltaic panels with increased efficiency. This technology has strong implications in the security and defence fields concerning both its use and its potential.*

Introdução

Nos próximos anos a Europa, continuará a enfrentar uma série de ameaças, quer dentro do seu espaço territorial, quer na sua vizinhança próxima, e simultaneamente estará envolvida em atividades de manutenção de paz e solução de crises por força dos seus compromissos internacionais.

É também conhecido, que os desafios ligados à segurança estão em evolução constante, e influenciam de forma direta e de modo mais ou menos óbvio, as políticas Europeias (de que Portugal é também destinatário) em diversas áreas: transportes, ambiente, energia, telecomunicações e espaço. Todas estas políticas têm efeitos, ainda que num âmbito mais vasto, na Política Europeia de Segurança e Defesa – European Security and Defence Policy (ESDP) – e da *Smart Defence*.

Partindo deste contexto, este artigo pretende relevar as futuras aplicações de uma tecnologia emergente, os chamados metamateriais, e avaliar o seu impacto na segurança e defesa, nomeadamente em Portugal. Os metamateriais são materiais fabricados pelo homem que apresentam uma característica interessante e impossível de encontrar em materiais que ocorrem na natureza. Essa característica consiste em apresentarem macroscopicamente um índice de refração negativo, o que permite aplicações pouco usuais como, entre outras, a construção de superlentes com resoluções da ordem dos nanómetros e a possibilidade de fabricar “mantos de invisibilidade”, que permitiriam tornar objetos invisíveis ao radar e possivelmente, no futuro, permitir a invisibilidade também na banda do visível.

As pesquisas científicas relacionadas com os metamateriais têm recebido particular atenção e investimento de agências governamentais e privadas de países mais desenvolvidos dadas as incríveis tecnologias que permitem viabilizar. Por um lado, o desenvolvimento da tecnologia dos metamateriais depende diretamente do desenvolvimento da nanotecnologia abrindo perspectivas duma dinâmica económica acelerada. Por outro lado, os metamateriais entre outras aplicações para fins militares, não só oferecem mantos de invisibilidade que potenciam inúmeras capacidades ao “mundo da defesa” como permitem, por exemplo, o desenvolvimento de sensores com enorme sensibilidade, antenas mais diretivas e com menor dimensão e células fotovoltaicas mais eficientes. Esta tecnologia levanta questões no âmbito da segurança e defesa quanto ao seu potencial, ao seu uso e representa um mercado potencial com uma dimensão muito elevada na economia dos países que a ela aderirem.

Nanotecnologias e Metamateriais

A Europa – bem como qualquer comunidade em qualquer outra parte do mundo – tem obrigação de mobilizar as suas competências – técnicas, tecnológicas, científicas, investigação – para se defender de possíveis cenários de agressão, que constituam uma ameaça efetiva para os seus cidadãos, quer no seu próprio espaço,

quer fora dele. As linhas de ação a adotar beneficiarão diretamente de desenvolvimentos científicos e tecnológicos, que permitirão combater as ameaças, assegurar melhores condições à segurança da sociedade, bem como o funcionamento do mercado global.

No fim do século XIX e dealbar do século XX, assistiu-se a grandes evoluções na física, nomeadamente no domínio do eletromagnetismo, que deram origem às modernas telecomunicações. Citem-se como exemplos, a telefonia sem fios, o radar, os computadores, os sensores de infravermelhos, os satélites, o GPS e as comunicações por fibra ótica. Estas descobertas tiveram um impacto profundo, na sociedade civil e também na organização e condução de operações militares não só pela forma como densificou as comunicações e as alavancou em rede, mas também porque alterou formas de pensar, renovou processos e ofereceu novas estruturas. Esta mudança de paradigma, no ambiente militar, intitulado de “Revolução dos Assuntos Militares” (Telo, 2006) resulta sobretudo da evolução da eletrónica que na prática se tem traduzido em equipamentos / armamentos militares mais precisos e no aumento da capacidade de processamento, transmissão e partilha de informação que permitem uma vigilância em tempo real do campo de batalha. Neste particular, para o efeito, muito contribuem radares situados em terra ou em aeronaves, e as informações recolhidas por sensores, com especial ênfase para os óticos instalados em veículos aéreos não tripulados, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), vulgos drones. Estes meios de vigilância, mas também de controlo e de capacidade dissuasora, permitem, quando operados corretamente, economizar meios materiais e humanos, otimizar a logística e poupar ou reduzir na perda de vidas humanas. É portanto crucial a capacidade tecnológica para instalar, operar e desenvolver estes meios quer na esfera nacional quer no seio de uma efetiva colaboração militar, no domínio internacional.

Na última década os desenvolvimentos na fotónica e na ciência dos materiais, conduziram ao aparecimento de materiais com propriedades extraordinárias devido às aplicações inovadoras que permitem em diversos campos de atividade. Designam-se esses meios por metamateriais. O termo “metamateriais”, tal como o nome indica, – meta é um prefixo grego que significa “além de” –, designa uma classe de materiais fabricados pelo homem que exibem propriedades macroscópicas pouco convencionais, que não podem ser encontradas nos materiais naturais e que são objeto, hoje em dia, de muito trabalho de investigação.

Estes novos materiais são constituídos por um material base, no qual são incluídas heterogeneidades com escalas de repetição muito menores que o comprimento de onda associado às ondas eletromagnéticas com que se ilumina o meio. As propriedades que estes materiais exibem, resultam essencialmente da sua estrutura, e não tanto da sua composição química. Por dimensionamento adequado, podem obter-se todo o tipo de propriedades que se desejem para aplicações variadas.

A característica principal dos metamateriais é que têm índices de refração negativos que são impossíveis de obter com materiais naturais. Esta característica permite prever aplicações extraordinárias como por exemplo, entre outras, as superlentes, os mantos de invisibilidade, os sensores ultrassônicos, as células solares de alto rendimento, bem como aplicações na pesquisa aeroespacial e na proteção sísmica, que têm implicações evidentes nas áreas da segurança e defesa.

Em 1959, numa conferência organizada pela American Physical Society, abordando o tema *There's Plenty of Room at the Bottom*, Richard P. Feynman, futuro prémio Nobel da Física e um dos físicos mais geniais de todos os tempos, enunciou as enormes aplicações que seriam possíveis se se pudesse manipular a matéria à escala molecular ou atômica. Na época em questão não existia a tecnologia que permitisse a realização das especulações de Feynman, mas sendo um físico teórico genial, conseguiu antever o futuro.

As vantagens principais destas tecnologias incluem a possibilidade de construir aparelhos com materiais mais leves, mais resistentes e programáveis. Os aparelhos serão realizados à medida das aplicações, reduzindo assim, os custos de manutenção devido à menor ocorrência de avarias e com custos de ciclo de vida mais reduzidos. As aplicações são inúmeras e incluem desde a nano-eletrónica, as biotecnologias, a ciência dos materiais, as aplicações aeroespaciais e o desenvolvimento sustentável.

A National Science Foundation em 2001 projetava uma perspectiva, muito interessante, do mercado mundial das nanotecnologias em mil milhões de euros para o período 2010-2015.

Tabela 1- Previsão Mercado Mundial de Nanotecnologias (2010-2015)
(em mil milhões de euros)

Eletrónica	300
Aplicações aeroespaciais	70
Indústria química	100
Indústria farmacêutica	180
Materiais	340

Fonte: Hullmann (2006).

Segundo a Research and Markets (2015), no relatório *Nanotechnology Market Global Outlook 2022*, o mercado terá um crescimento de 17,5% durante o período de 2016-2022.

No que respeita a metamateriais a BCC Research Market Forecasting, calculava que o mercado mundial valia em 2013, \$289,2 milhões de dólares, e que em 2019 seria

de \$1,2 mil milhões de dólares e em 2024 cerca de \$3 mil milhões de dólares. Este crescimento global é ainda mais impressionante na área dos metamateriais eletromagnéticos, que apresentará uma evolução muito acentuada, ainda de acordo com a mesma fonte, passando de \$140 milhões em 2010 para \$412,2 milhões em 2016, com uma taxa anual de crescimento de 20,7%, atingindo os \$41,2 milhares de milhões em 2021, com uma taxa de crescimento anual de 23,5% entre 2016 e 2021 (BCC Research, 2014).

A história dos “Metamateriais” e meios complexos inicia-se nos finais do século XIX, em 1898, com os trabalhos de Sir Jagadis Chunder Bose, que publicou o primeiro trabalho sobre estruturas helicoidais. Em 1967, Victor Veselago, um investigador russo, propôs uma análise teórica da propagação de ondas em meios com índices de refração negativos, e demonstrou que se tais meios fossem realizáveis, a direção de propagação das ondas viria invertida. No entanto, o interesse nestes meios só foi despertado quando John Pendry do Imperial College, Londres, Reino Unido, propôs em 1990 uma estrutura periódica que permitia realizar o modelo de Veselago.

Pendry chamou a atenção do mundo científico para as aplicações que um índice de refração negativo permitiria, nomeadamente a construção de superlentes com resoluções da ordem dos 100 nanómetros e ainda a possibilidade de fabricar “mantos de invisibilidade”, que permitiriam o fabrico de materiais invisíveis ao radar, e possivelmente também na banda do visível. Para além dos mantos de invisibilidade, estes meios permitem também o fabrico de lentes, com capacidades de resolução muito elevada, à escala do nanómetro e portanto com dimensões atómicas ou moleculares. No âmbito das transmissões, estes materiais permitem a construção de antenas, mais leves, de dimensões mais reduzidas e com feixes mais estreitos e ganhos mais elevados, ou seja, com maiores capacidades de deteção e transmissão.

Em 2000, Smith *et al.*, fabricaram experimentalmente metamateriais com valores negativos do índice de refração, obtidos por sobreposição periódica de pequenas espiras e condutores metálicos finos.

Em 2006 o primeiro “manto de invisibilidade” foi demonstrado para sinais na banda das micro-ondas. No entanto, embora houvesse um grande interesse no estudo prático e teórico dos metamateriais, estes só eram produzidos em experiências científicas e em pequena escala. Para metamateriais que interagissem com a luz visível a maior dimensão obtida não ultrapassava a centena de micrómetros (100×10^{-6} m).

Em 2007, D. R Smith e Costas M. Soukoulis, do Ames Laboratory, Iowa State University, E.U.A., em conjunto com investigadores do Institute of Electronic Structure and Lasers (IESL) de Creta, Grécia, a companhia de aviação Boeing e o Massachusetts Institute of Technology (MIT), E.U.A., publicaram várias propostas para tornar possível a produção em massa dos metamateriais.

Para realizar um metamaterial é necessário além do material base, dimensionar o tipo das inclusões e o seu espaçamento na estrutura, que como dissemos anteriormente está diretamente relacionado com a banda de frequências em que o material será usado. Como os parâmetros constitutivos elétricos e magnéticos (ϵ e μ) dos metamateriais podem ser ajustados independentemente, é possível para uma determinada banda de frequências, ajustá-los de modo a terem o mesmo valor que os parâmetros do ar, o que significa que não haverá reflexão da radiação incidente. A existência de um índice de refração negativo permite a deflexão da radiação incidente, desviando-a e fazendo-a rodear o objecto, com pequena distorção, de modo que ele não é detectado. Claro que esta deflexão está relacionada com a frequência de operação e portanto um objecto pode ser tornado invisível ao radar (banda das microondas), mas ser visível a olho nu.

Um dos objectivos que se pretende atingir actualmente é o da fabricação de mantos de invisibilidade na região do visível, o que se torna mais difícil, pois a luz visível apresenta comprimentos de onda da ordem das centenas de nanómetros (10^{-9} m) enquanto o radar usa comprimentos de onda da ordem dos centímetros, correspondentes à banda das microondas. Deste modo a construção de metamateriais na banda do visível necessita do recurso às nanotecnologias.

Outras aplicações que já estão disponíveis no mercado são as antenas de metamaterial, com dimensões muito reduzidas e que permitem directividades elevadas, e consequentemente uma recepção mais selectiva e usando menos potência. Esta característica permite reduzir as dimensões, o peso e aumentar a quantidade de informação, o que torna possível por exemplo o fabrico de radares miniatura e possivelmente nanoarmas.

A Agência Europeia de Defesa (EDA)

A investigação científica relacionada com a defesa tem vindo a assumir uma importância crescente nas forças armadas. O seu papel inicial de apoio ao desenvolvimento de sistemas de armamento evoluiu, sendo hoje um pilar estratégico na transformação das forças armadas, assim como na evolução das capacidades militares (Dinis, 2005; Telo, 2006).

Os teatros de operações atuais caracterizam-se por grande dinamismo e flexibilidade estando sujeitos a mutações muito rápidas, pelo que é necessário dispor de soluções técnicas que possam ser incorporadas nas operações de modo rápido, flexível e sustentável. Há pois que avaliar e identificar os novos desenvolvimentos tecnológicos que sejam capazes de apoiar novas capacidades e necessidades no campo da segurança e defesa (Piquer, 2010).

A este nível verifica-se uma grande assimetria. Os EUA, Reino Unido, Austrália e Canadá têm adotado estratégias para a previsão e desenvolvimento da defesa – *Foresight Project*, etc. –, efetuando um estudo seletivo das tecnologias emergentes e

suas aplicações futuras bem como um investimento para o desenvolvimento de protótipos, com um horizonte de 20 anos em média. Na China, embora os gastos de defesa tenham aumentado, desde o início do século XXI, para o triplo, não existe informação se há ou não estudos estratégicos sobre novas tecnologias com interesse militar, mas sendo a China um país que planeia a longo prazo, podemos suspeitar que tais estudos existem.

Em contraposição, os orçamentos da defesa na Europa têm diminuído ao longo da última década. A recente crise económica agravou a situação, tornando necessário envidar esforços para uma seleção criteriosa dos projetos com interesse nesta área estimulando a sua geração e estabelecendo preferencialmente laços de cooperação com a sociedade civil, nomeadamente a comunidade académica e os parceiros industriais.

A seguir aos EUA, e possivelmente à China, parece-nos ser a UE quem detém as capacidades militares mais avançadas do mundo, por enquanto, daí a necessidade de aglutinar essas mais-valias num corpo que permita efetuar uma gestão conjunta das capacidades operacionais, de investigação e coordenação no âmbito da segurança e defesa.

Em julho de 2000, os países europeus com capacidade tecnológica e industrial, assinaram o Acordo de Enquadramento para a Restruturação e Operação da Indústria Europeia de Defesa – “Framework Agreement Concerning Measures to Facilitate the Restructuring and Operation of European Defence Industry” –, assinado pela Alemanha, França, Reino Unido, Itália, Suécia e Espanha. Só mais tarde em 2004, por uma Ação Conjunta do Conselho da União Europeia, se criou a Agência Europeia de Defesa – European Defence Agency (EDA) –, sediada em Bruxelas. Todos os países europeus, com exceção da Dinamarca, participam nesta agência.

As funções da EDA são cumprir os objetivos definidos pela Política Comum de Segurança e Defesa, tal como foi estabelecido nos Artigos 2.º e 5.º da Ação Comum 2004/551/PESC de 12 de Julho de 2004 (Afonso-Meiriño, 2010).

Esses objetivos visam o planeamento de estratégias de modo concertado, para desenvolver tecnologias para um mercado único da defesa competitivo e a promoção da cooperação em programas de armamento.

É relevante ainda referir que em junho de 2002, foi inaugurado o Instituto Europeu de Estudos de Segurança, com sede em Paris, cujos objetivos, enquanto agência europeia, são coordenar e desenvolver a investigação europeia na área da segurança. O Tratado de Lisboa em 2010, veio alterar a designação de ESDP para Common Security and Defence Policy (CSDP) e lançou as bases para uma cooperação permanente na área da defesa.

A investigação tecnológica para a defesa, envolve investigação fundamental e aplicada. A primeira é essencial para a expansão do conhecimento e o desenvolvimento

de tecnologia pioneira, que possa mais tarde ser aplicada em armamento a desenvolver a médio ou longo prazo. No programa de atividades estabelecido em 2005, foi desenvolvido o Conceito Operacional de Investigação e Tecnologia – R&T Operational Concept –, que constitui o *modus operandi* da EDA. Este conceito engloba sete pontos principais designados por Key Operating Rules (KOR)¹.

Até finais de 2013, a investigação da EDA esteve agrupada em áreas designadas por domínios de capacidades e as atividades de investigação estavam agrupadas em três áreas: Informação-Aquisição-Processamento (IAP), Guiamento-Energia-Materiais (GEM) e Ambiente-Sistemas-Modelação (ESM) (Piquer, 2010).

Estas por sua vez estavam subdivididas em quatro unidades menores, designadas por Domínios de Capacidade (*cap techs*), que englobavam não só áreas científicas, mas também redes de peritos nesse domínio. O objetivo dos *cap techs* era propor linhas de investigação ou projetos² em duas vertentes: ou com interesse estratégico, ou para corresponder a capacidades pretendidas. Em ambas deveria existir cooperação entre a sociedade civil representada por peritos do mundo académico ou da indústria, e a área da defesa. A figura 2 ilustra a estrutura de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (I&DT) da EDA.

De acordo com esta estrutura podia-se verificar que os metamateriais estavam inseridos preponderantemente no domínio GEM, embora possa ter contribuições para outros. Os metamateriais, pela sua natureza, estavam inseridos no *cap tech* GEM01, mas podem ser utilizados no fabrico de novos meios de guiamento de sinais e no fabrico de antenas com maior poder de discriminação, que por sua vez podem ser parte integrante de um sistemas de controlo ou de emissão e receção. Portanto podiam ter também uma contribuição significativa para o *cap tech* GEM04, GEM03 e GEM02³.

O programa-quadro que define as atividades da EDA⁴ inclui ainda hoje quatro linhas estratégicas: (1) Plano para o Desenvolvimento de Capacidades (CDP), (2)

1 1. Definição de Capacidades, 2. Gestão Centralizada, 3. Transparência na Monitorização e Supervisão, 4. Manutenção das Redes de Cooperação Existentes, 5. Interface com a Investigação Civil, 6. Cooperação com a Indústria, e por último, 7. Uso da Capacidade de Contratação da EDA para Investigação e Desenvolvimento.

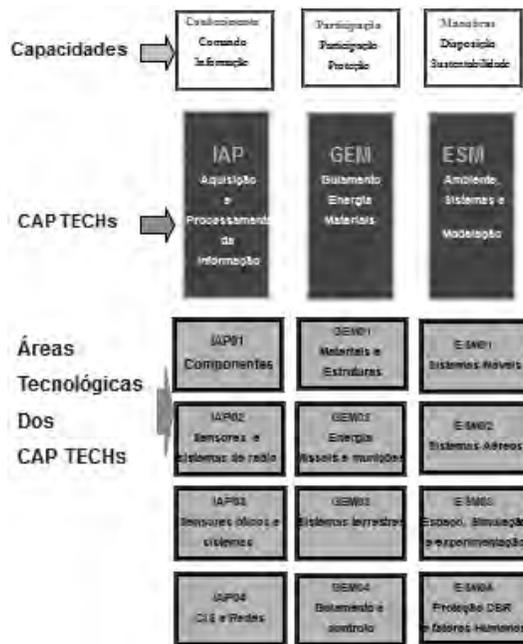
2 São essencialmente projetos do tipo *top-down*, ou projetos tecnológicos provenientes da sociedade civil com aplicação militar, que são do tipo *bottom-up*.

3 Além destas, os metamateriais podem ser usados no projeto de sensores com maior sensibilidade – contribuições no âmbito dos *cap techs* IAP02 e IAP03. A aplicação de metamateriais nos chamados “Mantos de Invisibilidade” permite inferir uma incidência imediata na ocultação de veículos navais ou aéreos – contribuições para os *Cap techs* ESM 01, ESM04 e ESM03.

4 A construção do espaço europeu de defesa, bem como o desenvolvimento das capacidades europeias, tem sido orientado pelos Objetivos Globais de Helsínquia – Helsinki Headline Goals (HHR).

Investigação Tecnológica para a Defesa Europeia (EDR&T), (3) Cooperação Europeia em Armamento (EAC) e (4) a Base Tecnológica e Industrial de Defesa Europeia (EDTIB). Os objetivos a atingir são que as despesas em I&DT correspondam a 2% da despesa total com a defesa e que os Projetos Cooperativos de I&T representem 20% da rubrica I&DT da defesa (Berenguer, 2010).

Figura 2 – A Estrutura de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (I&DT) da EDA

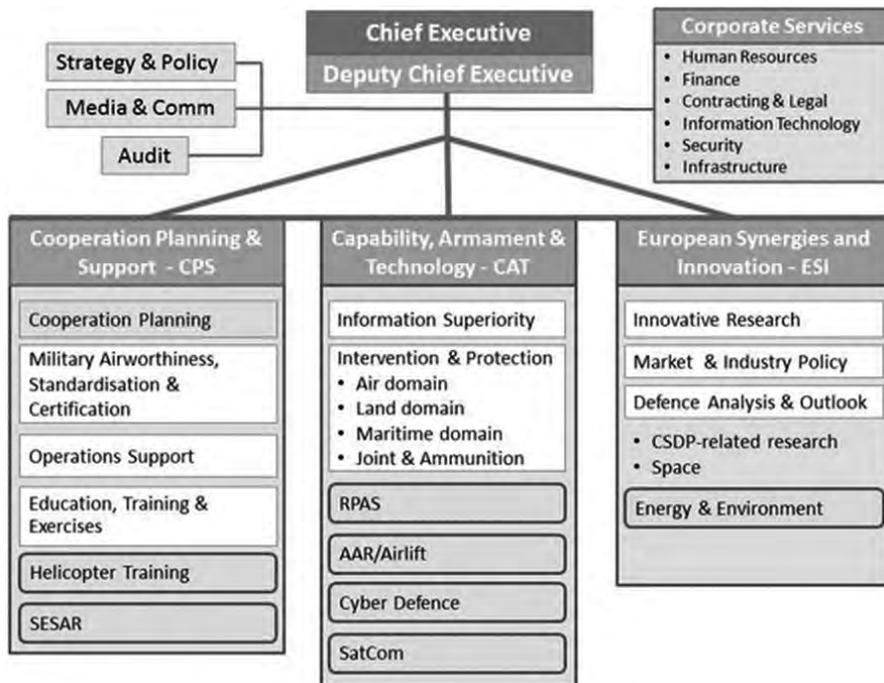


Fonte: Ministerio de Defensa (2010, p. 101).

Em 2014 a estrutura da EDA foi alterada (figura 3) passando a incluir as seguintes divisões: Planeamento e Apoio à Cooperação (CPS), Capacidades, Armamentos e Tecnologias (CAT) e Sinergias Europeias e Inovação (ESI)⁵. A lógica desta nova divisão parece ser uma orientação aplicacional direcionada para projetos específicos orientados mais para fins militares, agrupados na divisão CAT – por exemplo, *air-lift*, *cyberdefence*, *satcom* – e outros projetos mais vocacionados para investigação – investigação associada à CSDP, energia e ambiente, espaço.

5 Respetivamente Cooperation Planning & Support (CPS), Capability, Armament & Technology (CAT) e European Synergies and Innovation (ESI).

Figura 3 – A Nova Estrutura da EDA



Fonte: European Defense Agency (2014a).

A área tecnológica dos metamateriais configura-se portanto como uma área de tecnologia emergente de grande impacto, com múltiplas aplicações, sendo a maioria dessas utilizações futuras de grande interesse para a segurança e defesa, como se tem evidenciado neste artigo.

A Importância Estratégica das Indústrias de Defesa e I&DT

Um país sem uma defesa moderna, autónoma e produtiva terá sempre uma soberania relativa e dependente de outros. Neste enquadramento, a indústria de defesa é um ambiente estratégico, fator de projeção de poder e de crescimento social, económico e tecnológico porque na construção de uma verdadeira defesa nacional a sociedade dita as políticas, a comunidade científica busca o conhecimento tecnológico, a indústria produz os equipamentos e sistemas necessários e o Estado conduz o processo. De facto, as indústrias de defesa são relevantes e naturalmente estratégicas porque se por um lado representam uma significativa fatia na economia – pela parte da produção e do consumo – por outro fabricam instrumentos (genericamente armas), ou seja, um dos recursos mais “potentes” do Estado para o seu exercício de poder.

Se olharmos numa perspetiva mais conflitual são fatores estratégicos aqueles que suportam o poder de um Estado em conflitos internacionais. Ora se as indústrias de defesa são os fabricantes das armas, instrumento que o Estado usa para coagir, então elas são fatores de poder nacional. Se não tiver indústrias próprias terá de ficar dependente do mercado e dos fornecedores e no caso de ser um país de pequena dimensão, por não ter compras de escala, não terá grande capacidade negociadora. Cada Estado obviamente deverá encontrar a forma que melhor suporta os seus interesses e objetivos nacionais, balancear entre benefícios esperados e perigos potencialmente a enfrentar (Paulo, 2013)

Como Jorge Silva Paulo (2013, p. 173) realça, nas “indústrias de armamentos e equipamentos militares não pode haver transação livre” porque isso seria nocivo para a segurança das pessoas e dos Estados. Não pode ser um produto transacionado em mercado de forma livre. A segurança não pode ficar comprometida. Aos Estados compete o monopólio da violência legítima pelo que “se torna indispensável controlar as armas e respetivas indústrias”. Em última análise está em causa a sobrevivência do Estado e da comunidade.

Se por um lado segurança é a ausência de violência, por outro é também ausência de ameaças ao normal funcionamento da vida das pessoas e aos seus anseios. Nesta dimensão, é nossa opinião que devem ser tidas em consideração as potencialidades das tecnologias e as intenções da posse e do uso que os detentores delas exibam, mormente Estados. Neste enquadramento, também cada Estado se deve rever como mobilizador das capacidades tecnológicas que possui ou pode construir no sentido de articular uma conduta/orientação que saiba aproveitar esse potencial como contributo no acréscimo ou valorização dos fatores estratégicos em que assenta o exercício de poder desse Estado. No campo militar, os avanços tecnológicos sempre provocaram nítidos desequilíbrios das forças em confronto nos grandes conflitos. Armas mais elaboradas tecnologicamente, como aviões de combate, blindados, navios de guerra e submarinos, concentraram ainda mais o poder militar. No nosso caso estamos procurando a possibilidade de um produto a usar na segurança a partir da sua existência na dimensão académica e na aplicabilidade em fins civis.

“A ambição e o poder, próprios e alheios, são decisivos na génese das ameaças e na dinâmica do conflito: quem não tem objetivos ambiciosos, ou tem pouco poder para os realizar, não gera ameaças nem provoca conflitos”. Para afastar a ameaça pode-se “justificar” o recurso a todos os meios na qual se inclui a intimidação fazendo recurso a um potencial de que disponha mesmo que nunca venha a usá-lo. A sobrevivência justifica os custos. “A procura e a decisão do melhor compromisso entre o controlo dos riscos e a afetação de recursos às várias políticas e estratégias dum Estado e dum país são questões políticas magnas” (Paulo, 2013, p. 174).

Para superar as ameaças certamente são necessários recursos e um exercício de poder. O poder combina vontade e capacidades. “Sem vontade, as capacidades não geram poder; e sem capacidades, não há vontade que gere poder” (Paulo, 2013, p. 175).

A segurança pela perspectiva da ciência económica é tida como um bem público, isto é, justifica que seja o Estado a produzi-la – em genérico armas – e a providenciá-la. As forças armadas nacionais, encarregues de defender o respetivo Estado de ameaças externas, terão de dispor de meios e de serem capazes de usar a força. Parece-nos óbvio que quem usufrui da segurança terá de suportá-la, *i.e.*, pagá-la e ter meios para a possuir.

“As armas, as indústrias de defesa, as FA e as FSS são só alguns dos seus fatores de produção de segurança” (Paulo, 2013, p. 176)⁶.

“Os Estados constroem e impõem o respeito pelo atributo da legitimidade, pois o uso da força está ao alcance de qualquer pessoa, e é irrealista ambicionar o seu monopólio. Por isso, aos Estados atribuem-se o monopólio e fazem o controlo apertado da posse, propriedade e uso da força e das armas” (Paulo, 2013, p. 177). Em nossa opinião, as tecnologias, no seu desenvolvimento poderão ter aplicação militar ou serem mobilizadas como potencial de poder, senão mesmo ameaça. Deste modo, Investigação & Desenvolvimento (I&D) e tecnologias poderão ser perspetivadas numa lógica de uma futura “arma”. É neste enquadramento que pretendemos apreciar a investigação e a academia no que respeita a metamateriais, mas, curiosamente os políticos e os povos europeus abandonaram ambições imperialistas e parecem ser pouco adeptos do uso da força (Sheehan, 2007).

A relação entre I&DT e o poder militar das nações em boa verdade é um fato recente na história moderna que se tornou mais evidente durante a II Guerra Mundial⁷. Por outro lado, nos tempos atuais parece-nos cada vez mais evidente que a dinâmica do desenvolvimento depende cada vez menos de novos recursos materiais, e mais da incorporação de conhecimentos científicos e tecnológicos.

6 As FA correspondem às Forças Armadas e as FSS às Forças e Serviços de Segurança.

7 Até o final da década de 1930, a inovação era basicamente difundida para os EUA e qualquer esforço interno de I&D no país era proveniente dos centros de pesquisa das forças armadas (Medeiros, 2005). Somente a partir da II Guerra Mundial, com o surgimento do Comité de Pesquisa de Defesa Nacional – National Defense Research Committee (NDRC) –, é que se iniciam os esforços conjuntos entre universidades, laboratórios industriais e militares que propiciariam importantes inovações na concorrência armamentista contra a Alemanha. Durante a II Guerra Mundial, cientistas e pesquisadores foram mobilizados, na busca de soluções para os mais variados problemas, desde o desenvolvimento bélico até ao uso de aplicações matemáticas nos processos de tomada de decisão. Realça-se por exemplo o aparecimento da investigação operacional. Com o dedo do governo, envolveram-se universidades, institutos de investigação e indústrias de caráter estratégico na produção de material com emprego militar, numa forte mobilização do poder científico e tecnológico.

No Brasil, ciência e tecnologia são tidos como uma expressão do poder nacional (Andrade e Schneider, 2003) sendo que o poder pode ser entendido como uma multiplicidade de percepções, como conceitos relacionados a força, influência e autoridade, visto como o fenômeno pelo qual uma vontade se manifesta com capacidade de produzir efeitos desejados, que de outra maneira não ocorreriam espontaneamente. Portanto, Ciência e Tecnologia (C&T) como expressão do poder nacional é vista como uma manifestação do conjunto de homens e meios que constituem parte do poder nacional, com vista a alcançar e preservar os objetivos nacionais.

Nestas questões os EUA não hesitam em associar a política de ciência e tecnologia e a manutenção da soberania nacional. Nos objetivos relativos à ciência, os EUA pretendem, por um lado, estar sempre entre os líderes mundiais em todas as áreas da ciência, de forma a aplicar os avanços científicos e tecnológicos conquistados onde quer que eles sejam necessários, e por outro lado, pretendem manter uma clara liderança em algumas das principais áreas da ciência (Bevilacqua, 1996)⁸.

Qualquer Estado tem os seus interesses, ditos nacionais, e deseja exercer poder no que estiver ao seu alcance e se a oportunidade se proporcionar. Mas para além dos recursos de coação/coerção – se tem este poder pode ser considerado uma arma embora não com fins militares – “o poder depende da riqueza (potencial e atual) e concretiza-se numa posição na sociedade internacional” (Paulo, 2013, p. 179). Ora os centros mais dinâmicos têm o poder de iniciativa e de liderar os destinos do mundo. A vanguarda tecnológica, da investigação ou de conhecimento científico, representam instrumentos de liderança e eventualmente de capacidades de persuasão especialmente sobre os que não dispõem dessas capacidades. Parece-nos curioso, mas as armas não são avaliadas pelos seus méritos absolutos, mas em relação às dos aliados e dos rivais (Kirkpatrick, 1995, p. 264). Quem usa as armas quer ter vantagem e nesse contexto, certamente as mais modernas. Parece-nos óbvio que as armas – não exclusivamente as militares – só sendo inovadoras conseguirão via-

8 Surgia entre militares a conceção de que ganhar guerras era devido à superioridade tecnológica de um país e que, para isso, era necessário direcionar a inovação em conjunto com todos os atores institucionais deste processo (Medeiros, 2005). Cria-se assim uma grande motivação – segurança nacional dependendo da posição do país na corrida armamentista-tecnológica – para os formuladores de política externa, fazendo com que os recursos sejam facilmente alocados aos setores de investigação e desenvolvimento. Assim surge o sistema de inovação americano, ou “complexo militar-industrial”, como o presidente Dwight D. Eisenhower (American Rhetoric, 2010) o denominou no seu último discurso, em 1961, na Casa Branca e que mais tarde foi reconhecido como um “complexo militar-industrial-académico” (MIA) por envolver todo o centro de investigação e desenvolvimento do país em objetivos específicos de segurança nacional. Dominar o processo de inovação, canalizando todas as forças sociais disponíveis, e direcioná-lo de acordo com os objetivos estratégicos do Departamento de Defesa (DOD) acelerou o surgimento de inovações militares radicais.

bilizar a surpresa e garantir a superioridade estratégica, situações que são sempre temporárias – obsolescência e aproximação tecnológica dos outros –, mas tal requer avultadas somas despendidas em I&DT, ainda que sejam tecnologias de duplo uso – ou seja, as armas podem integrar ou resultar de adaptações de bens ou produtos com finalidades civis. Esta possibilidade tem vantagens, mas poderá trazer dificuldades de delimitação e de regulação das armas e indústrias de defesa, além de aumentar o risco de proliferação (Paulo, 2013, p. 185).

Existe assim pouco espaço para as empresas criarem armas – legislação e licenças, interesse dos clientes, erros *versus* rentabilidade –, no entanto as indústrias de defesa, sendo racionais, apenas respondem à procura, mas cujos requisitos, se sofisticados e inovadores no sentido de obterem vantagem estratégica, sobretudo sobre as ameaças, certamente impulsionam a I&DT, assunto que estamos tentando equacionar neste artigo ao falarmos de tecnologias emergentes. Um país ser autossuficiente na produção de armas não será para todos. Mas existem outras formas de estar. Criar alianças do conhecimento, combinando a produção de conhecimento científico e de recursos humanos qualificados, próprio da universidade, com a capacidade empreendedora da empresa. Tudo isso fomentado, apoiado e regulado pelo governo tem um elevado impacto e interesse social (Cruz, 2001) e reflete-se no potencial nacional.

Inversamente, quando o país não possui indústrias de defesa em sistemas sofisticados e as suas forças armadas porque apetrechadas (ou modernizadas) fazem recurso desses sistemas, é quase certo que os produtores destes sistemas sofisticados, “por ser monopolista na assistência técnica pós-venda, pode explorar esta dependência do cliente” (Sandler e Hartley, 1995, p. 148). Paralelamente, a percepção de fraca ameaça que gera a retração da procura, “as longas durações da I&DT e do fabrico de armas novas, combinados com hesitantes processos de aquisição, por picos descoordenados entre Estados e em cada um, têm levado a que, sobretudo nos Estados menos ricos, quando as armas entram ao serviço, já estão desatualizadas estratégica ou tecnologicamente” (Paulo, 2013, p. 183). Assim, só por acaso as necessidades permanentes de novas armas serão adequadamente satisfeitas.

Neste contexto, “muitos Estados articulam as suas procuras para partilhar despesas de I&DT, explorar economias de escala e outras (reduzindo custos unitários e riscos financeiros) e garantir a interoperabilidade entre aliados” (Paulo, 2013, p. 183). Embora as armas sejam cruciais para a soberania, os Estados com esta metodologia de abordagem procuram soluções inovadoras, conscientes de que perdas de autonomia podem gerar maiores ganhos, de que são exemplo a *Smart Defence* e o *Pooling & Sharing*. Neste ambiente, as indústrias de defesa continuam a ser estratégicas requerendo no entanto um nível de ação com subtileza e objetivos claros.

Para reduzir os riscos de alimentar conflitos, “os Estados têm criado regimes internacionais de controlo da exportação e de não proliferação de armas, para

limitar o comércio daquelas armas e dos bens e tecnologias de duplo uso” (Paulo, 2013, p. 189).

Numa visão de Mercado Único da Defesa, era suposto que os Estados-membros da UE se “especializassem internamente nos requisitos, na conceção, no fabrico, na aquisição, na manutenção e na alienação de capacidades e de armas”. Mas “nacionalismos, a inércia histórica e o apoio económico a regiões e empresas em crise têm impedido mais projetos” (Paulo, 2013, p. 193). Praticam-se protecionismo e satisfazem-se grupos de interesses.

Portugal e outros pequenos Estados importam quase todas as armas e sistemas que procuram para as suas forças armadas; formam a procura externa dos produtores, com montante marginal, mas decisivo para a rendibilidade, em parte pelos adicionais das alterações de requisitos (Paulo, 2013, p. 186). “Hoje é raro que um Estado ou as suas FA detenham o controlo direto sobre essas indústrias, preferindo-se a regulação legal e económica para melhorar afetação de recursos” (Paulo, 2013, p. 194). Porém, tal não é impeditivo que o Estado olhe a sua I&DT não só como aproveitamento económico, mas também como um recurso na defesa dos seus interesses nacionais.

O Mercado Europeu de Defesa e Portugal

Uma das dimensões a observar nos impactos na segurança e defesa é o mercado da defesa porque representa economia, desenvolvimentos na defesa – armamentos, equipamentos – e os posicionamentos de países em indústrias e investigação.

O Mercado de Defesa Europeu é um pilar essencial da Política Comum de Segurança e Defesa (ESDP), e tem o seu motor na criação da EDA em 2004. A preocupação é de criar um mercado único na área dos armamentos e equipamentos e nesse sentido tem uma visão integradora interna e não de uma economia para o exterior. Sendo o mercado industrial europeu caracterizado por assimetrias de desenvolvimento e recursos, com a EDA dá-se um primeiro passo para a consolidação de um mercado conjunto num sector crucial em termos económicos e de emprego.

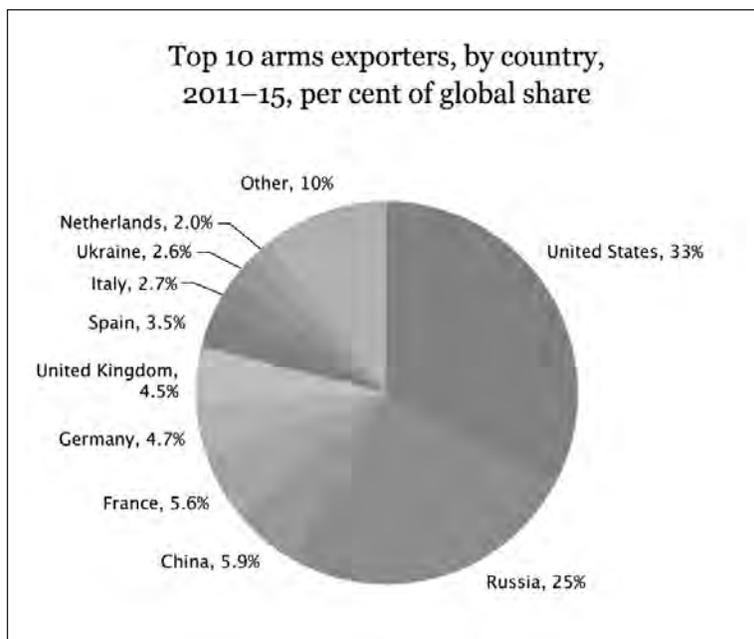
As vendas da indústria de defesa na Europa excediam 55 mil milhões de euros em 2007, o que correspondia à data a 30% da produção global, e empregavam 300 mil pessoas. No entanto, é um mercado muito fragmentado, em que os governos de cada país têm um papel predominante como consumidores, legisladores e por vezes mesmo como acionistas. Além desta assimetria interna, lidava-se também com uma transatlântica. As exportações americanas para a Europa não têm tido reciprocidade no acesso da indústria Europeia ao mercado americano.

Tendo em conta que há uma relação entre os gastos com I&D e o avanço tecnológico da indústria de defesa, embora com um *gap* de 10-25 anos, há uma supremacia absoluta dos EUA na cena mundial, apesar de a China e a Índia estarem a fazer

investimentos muito substanciais na área da defesa, sendo cada vez mais potências emergentes.

A posição relativa na exportação de armamento a nível mundial está referida na figura 4, sendo os dados reportados a 2015.

Figura 4 – Os Dez Maiores Países Exportadores de Armamento (2011-2015)



Fonte: SIPRI (2016).

Para evitar a duplicação maciça de estruturas e de programas, combater a fragmentação do mercado e a ausência de normalização e reforçar a necessidade de interoperabilidade, a Comissão Europeia aprovou duas diretivas que visam maior presença de produtos europeus nos mercados dos países membros e as transferências dentro da Comunidade. Nas questões de defesa, estimula-se às práticas de integração e partilha de recursos (*Pooling & Sharing*) como parte de um processo para uma defesa única e a uma política de *Smart Defence*, tanto no âmbito da NATO como no espaço europeu. Assim, na UE tem-se assistido a experiências neste sentido por exemplo entre o Reino Unido e a França, entre os Estados Bálticos, Lituânia, Letónia e Estónia, entre a Bélgica e a Holanda e entre a Suécia e Alemanha. No caso de Portugal, a cooperação com a vizinha Espanha, na perspetiva de integração e partilha no espaço ibérico, sem olhar a questões de

natureza política, está limitada não só pela assimetria geográfica e de mercado, como de desenvolvimento industrial embora, em declarações durante a discussão pública do atual *Conceito Estratégico de Defesa Nacional* o Ministro da Defesa português tenha admitido a possibilidade de uma maior partilha da defesa entre Portugal e Espanha.

As Nanotecnologias e os Metamateriais

No domínio específico das nanotecnologias que são tecnologias emergentes com elevado potencial, económico e estratégico, a UE tem vindo a estabelecer, desde há uma década uma base de conhecimento. Porém, a UE terá que fazer investimentos maiores, de modo a construir infraestruturas, que permitam dispor em pleno da massa crítica dos seus competidores.

Segundo a BCC Research (2014) o mercado global para as nanotecnologias estava valorizado em \$22,9 milhares de milhões de dólares em 2013 e aumentou para cerca de \$26 milhares de milhões dólares em 2014. Espera-se que este mercado atinja um valor de \$64,2 milhares de milhões de dólares em 2019 com uma taxa de crescimento anual (CAGR) de 19,8% entre 2014 e 2019.

Em 2001, os EUA lançaram a National Nanotechnology Initiative (NNI) com um orçamento de \$220 milhões de dólares⁹. Para 2017 o orçamento federal prevê mais de \$1,4 biliões (milhares de milhões de dólares) para apoiar a ciência, engenharia, e I&D da tecnologia da nanoescala em 11 agências, embora em 2013 já tinha sido previsto um financiamento superior, de \$1,8 biliões de dólares. O financiamento cumulativo desde 2001 ascende a cerca \$24 biliões de dólares (NNI, 2012; s.d.) o que releva o importante papel que a tecnologia continua a jogar na agenda da Administração Americana no que respeita à inovação.

A China tem também aumentado de modo significativo o seu investimento em nanotecnologia. As publicações científicas chinesas aumentaram a uma taxa de 200% durante a última década do século XX e estão a atingir os níveis do Japão e dos EUA.

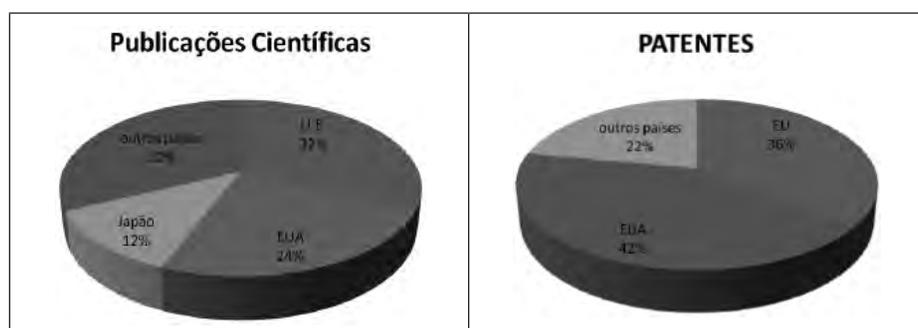
O Japão, identificou as nanotecnologias como uma área de excelência para as atividades de I&DT, tendo o seu investimento em 2003, sido de \$800 milhões de dólares, superando o investimento americano na mesma data. Taiwan investiu \$600 milhões de dólares num programa com uma duração de 6 anos, enquanto o investimento da Coreia do Sul atingiu os \$2 mil milhões de dólares. Outros países com investimentos crescentes neste domínio são a Austrália, o

9 Em especial entre 2005 e 2008 ficou vincada uma forte vontade de desenvolvimento com o programa designado 21st Century Nanotechnology Research and Development Act, que teve uma alocação de fundos de \$3,7 mil milhões (biliões) de dólares, não estando incluídos neste montante os fundos para a defesa (Commission of the European Communities, 2004).

Canadá, a Índia, Israel, a Indonésia, Singapura, Nova Zelândia, África do Sul e Tailândia.

Na União Europeia foi reconhecida como pertinente a investigação em nanotecnologias, com uma projeção de cerca de 4.000 empresas na Europa em 2015, e com a alocação de significativos fundos no programa Horizonte 2020 (GPPQ, s.d.) relevante a sua importância. Parece-nos no entanto que a situação da investigação ainda não venceu o desequilíbrio entre publicações *versus* patentes em nanotecnologias entre a UE e os EUA, bem evidente já no final da década de 90 (figura 5).

Figura 5 – Comparação entre o Nível de Publicações Científicas e Patentes entre os EUA e a UE



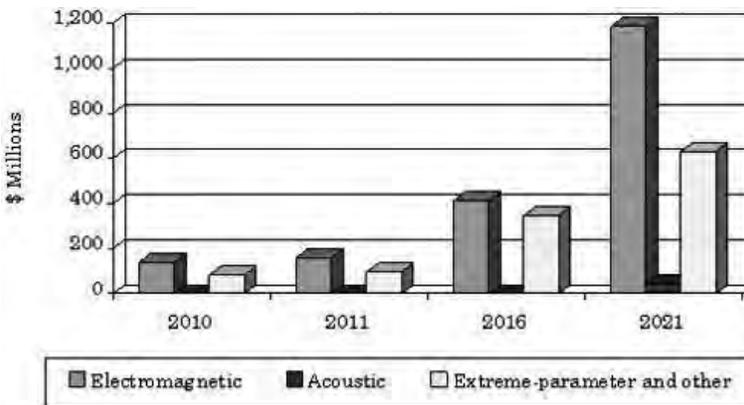
Fonte: Comissão das Comunidades Europeias (2004).

Da análise da figura 5, subentende-se que a indústria europeia tem dificuldades em capitalizar os resultados da investigação científica no sentido de a transformar em produtos. Para a criação de riqueza e emprego no mercado global, numa sociedade baseada no conhecimento, é essencial manter a competitividade na produção de novos conhecimentos mas também é necessário que essa produção científica seja transformada em produtos, que por sua vez sejam competitivos em termos de custo.

No que respeita a investimentos em nanotecnologia a situação na União Europeia está longe de ser homogénea. O investimento público dos vários países membros é muito diferenciado tanto em valores absolutos como em valor relativo. O investimento público global em investigação científica é comparável ao dos EUA e Japão, no entanto o investimento *per capita* na União Europeia tende a manter um valor mais baixo do que naqueles países. Por exemplo, em 2004, o investimento era de 2,4€ por cidadão, comparado com 5€ para os EUA e 8€ para o Japão. Também naquela altura, a União Europeia investia somente 0,04% do Produto Interno Bruto (PIB), enquanto nos EUA e Japão o investimento era de 0,11% e 0,02% respetivamente (Comissão das Comunidades Europeias, 2004).

No que respeita a metamateriais o seu mercado está em rápida expansão. A BCC Research (2014) calcula que o mercado mundial para os metamateriais, que valia em 2013, \$289,2 milhões de dólares, seja em 2019 de \$1,2 mil milhões de dólares e em 2024 cerca de \$3 mil milhões de dólares, representando um aumento de 20,5% entre 2019 e 2024. Estes dados estão indicados na figura 6, com a evolução dos vários segmentos do mercado entre 2011 e 2021.

Figura 6 – Mercado Global dos Metamateriais entre 2011-2021
(em milhões de dólares)



Fonte: BCC Research (2014).

Previsões recentes apontam para um crescimento excepcional de 41% no mercado de metamateriais, entre 2015 e 2025, sendo as aplicações em telecomunicações dominantes no mercado durante este período em que se prevê que atinjam um valor de 643 milhões de dólares em 2025 (Markets and Markets, 2016). Calcula-se que os metamateriais aparecerão nas aplicações aeroespaciais e de defesa em 2017 e que as superlentes e os mantos de invisibilidade estarão disponíveis comercialmente entre 2019 e 2022 (PR Newswire, 2016).

Os segmentos dos sensores e ótica serão os novos mercados emergentes para os metamateriais nos próximos 12 anos. As aplicações em instrumentação médica terão a taxa de crescimento mais elevada durante este período.

Assim, os metamateriais constituem um mercado promissor, em rápida expansão, com aplicações muito interessantes nas áreas da segurança e defesa¹⁰.

¹⁰ Relembramos os mantos de invisibilidade, melhor otimização de direcionamento do sinal de antenas.

A Situação em Portugal

Portugal possuiu uma indústria de armamento que se desenvolveu ao longo do século XX, com a criação de armamento original, de que é exemplo a pistola-metralhadora FBP, ou de desenvolvimento de equipamento existente, como a espingarda Mauser-Vergueiro, melhorada a partir da original Mauser 98. Esta indústria desenvolveu-se fortemente durante a guerra colonial, mas entrou em declínio a seguir ao 25 de Abril de 1974, de tal modo que hoje não há uma indústria nacional de armamento. Na década de 1990, no final do século XX, as empresas do setor da defesa deixaram de ter viabilidade económica e também financeira, causada pela inexistência ou por uma inadequada inovação dos seus produtos, pelo excesso de pessoal na maioria dos casos demasiado idoso e pouco qualificado e pela ausência de mercado. As estimativas¹¹ de 2015 em gastos com a defesa no seio da NATO eram de:

Tabela 2 – Gastos com a Defesa na NATO
(em milhões de dólares)

NATO – Europe	234 785
Canada	15 757
United States	649 931
North America	665 688
NATO – Total	900 473

Fonte: NATO (2016).

Julgamos que os dados revelam bem a postura dos países da Europa membros da NATO comparativamente aos EUA em termos de gastos com a defesa. A repartição destas verbas pelas diferentes rubricas também não deixa de ser em nossa opinião relativamente conclusiva quando se compara Portugal com Reino Unido e com os EUA (ver Tabela 3).

Tabela 3 – Repartição de Despesas na Defesa (NATO) por Rubricas (em %)

	Equipamento	Pessoal	Infraestrutura	Outros*
UK	2,6	38,1	2,6	35,9
USA	1,7	36,4	1,7	35,7
Portugal	8.8	76.8	0.04	14.4

Fonte: NATO (2016).

*Outras despesas inclui despesas de funcionamento/operação e manutenção, outras despesas de I&D que não estejam alocadas nas rubricas anteriores.

¹¹ Estimativas porque são valores projetados a partir de dados de 2013.

Olhando para dados de 27 membros da EU, a EDA regista os valores indicados na Tabela 4 relativamente às despesas com a defesa em Portugal e na EU, permitindo-nos concluir da diminuta quantidade de verbas alocadas à I&D para Defesa, em Portugal.

Tabela 4 – Despesas com a Defesa em Portugal e na UE (EDA)
(em milhões de euros)

	Portugal	EDA
Total das Despesas com a Defesa	2.591	186.373
% do PIB	1,57%	1,45%
Despesas com a Defesa <i>per capita</i>	247	371
Investimento em aquisição de equipamento e I&D por militar	7.906	26.122
Despesas com Pessoal	1.982	91.845
Despesas com infraestruturas e construção	1	4.391
Investimento na aquisição de equipamentos e em I&D.	260	37.504
Despesas na aquisição de equipamentos	260	29.973
Despesas de I&D para Defesa	0.9	7.531
Despesas de I&D para Defesa (subconjunto de I&D)	0.9	2.088
Despesas de funcionamento e manutenção	227	46.789
Custos operacionais com destacamento/expedição	50	7.434
Colaboração Europeia		
Aquisição de equipamento para Defesa Colaborativa	0	4.755
Aquisição de equipamento para Defesa Colaborativa Europeia	0	4.496
Despesas de I&D em Defesa Colaborativa	0.54	203
Despesas de I&D em Defesa Colaborativa Europeia	0.54	168

Fonte: European Defence Agency (2014b).

Como se verifica há um predomínio significativo de custos de pessoal comparativamente aos custos de equipamento, sendo, em Portugal, os custos com pessoal superiores em oito vezes que os custos com equipamento. Esta tendência é oposta à que se verifica nos EUA e em países de referência como o Reino Unido, e parece-nos que deve ser invertida em Portugal para a obtenção de melhores resultados.

Numa tentativa de solucionar os problemas associados às indústrias de defesa que estavam sob a alçada direta do Estado, foi criada, em dezembro de 1996, a EMPOR-DEF-Empresa Portuguesa de Defesa, SGPS, SA, tendo por objetivo a gestão das participações sociais detidas pelo Estado em sociedades ligadas às atividades de defesa e por outro lado reforçar a eficiência operacional, melhorando a ligação aos mercados, aumentando a competitividade e a inserção internacional e promovendo novos modelos organizacionais e culturais.

A EMPORDEF, uma *holding* que até muito recentemente (2012) era um aglomerado de empresas, formada por vários núcleos, e que empregava cerca de 1.600 trabalhadores com um ativo líquido de 817 milhões de euros e um volume de negócios de 95 milhões de euros. No entanto, por Resolução do Conselho de Ministros n.º 50/2015, de 17 de julho de 2015 (PCM, 2015) foi determinado o início do processo conducente à extinção da EMPORDEF, e a 20 de julho do mesmo ano foi promovida a entrada em liquidação da sociedade e nomeada uma Comissão Liquidatária. Apesar desse comunicado sabe-se, de fontes da EMPORDEF, que em 2015 e até ao momento, abril de 2016, o Estado detém sensivelmente as mesmas participações e os resultados de 2014 revelam um acréscimo de volumes de negócio em 6% (EMPORDEF, 2015).

Do seu núcleo industrial fizeram parte as Oficinas Gerais de Material Aeronáutico (OGMA) e a Indústria de Desmilitarização e Defesa, S.A. (IDD). Nas OGMA as vendas em 2009 terão atingido 146 milhões de euros e em 2014 ficaram próximo dos 167 milhões de euros, e a IDD que em 2008 tinha vendas de 2 milhões de euros teve um abaixamento para 1 milhão de euros em 2009, valor que é similar em 2014.

Do sector das Tecnologias de Informação & Comunicação (TIC), faziam parte a EID-Empresa de Investigação e Desenvolvimento de Electrónica, S.A. e a Edisoft¹², tendo conseguido resultados da ordem dos 22 milhões de euros¹³ e 7 milhões de euros, respetivamente, em 2009, mas em 2014 a EID situava-se nos 14,5 milhões de euros. A ETI-Empordef Tecnologias de Informação, S.A. e a PORTUGAL SPACE-Tecnologias e Serviços Espaciais, S.A. ainda dentro deste núcleo, apresentaram resultados no mesmo período de cerca de 2 milhões de euros, embora em 2014 sejam na ordem de 1,5 milhões de euros.

No sector naval da EMPORDEF faziam parte o Arsenal do Alfeite, a Naval Rocha e os Estaleiros Navais de Viana do Castelo (ENVC), que demonstraram um bom desempenho com resultados que atingiram os 56 milhões de euros para a ENVC em 2009, mas que em 2013 foram responsáveis por resultados negativos significativos de todo o grupo. No entanto, em 2014 apresentaram vendas na ordem dos 36 milhões de euros. Finalmente o núcleo financeiro da EMPORDEF englobava a Locação de Equipamentos de Defesa, S.A. (DEFLOC) e Locação de Aeronaves Militares, S.A. (DEFAERLOC), com prestações desiguais, que com vendas em 2009, atingiram valores na ordem de 25 milhões de euros e de apenas 1 milhão de euros, respetivamente. Em 2014, ambas juntas, por razões que se julga fora do contexto, tiveram um volume de negócios na ordem dos 74 milhões de euros.

12 A EID e a EDISOFT chegaram ocupar a nível internacional nichos de mercado significantes tendo em conta a dimensão de Portugal.

13 Em 2011 o seu volume de vendas e prestação de serviços foi de 18,7 milhões de euros embora em 2012 só tenha alcançado os 12 milhões de euros.

Tabela 5 – Relatório de Contas 2014 (EMPORDEF)

	Participação	2013 (em euros)	2014 (em euros)	Crescimento %
Estaleiros Navais de Viana do Castelo, S.A. (ENVC)	100%	3.785.661	12.837.375	239%
Naval Rocha – Sociedade de Construções e Reparação Navais, S.A.	45%	7.373.543	5.150.034	-30%
Arsenal do Alfeite S.A.	100%	12.883.697	18.647.118	45%
EMPORDEF Engenharia Naval (EEN)	100%	14.183	14.379	1%
IDD Indústria de Desmilitarização e Defesa, S.A.	100%	847.506	1.048.449	24%
OGMA Indústria Aeronáutica de Portugal, S.A.	35%	158.636.238	156.772.293	-1%
EDISOFT Empresa de Serviços e Desenvolvimento de Software, S.A.	17,5%	4.527.772	3.765.548	-17%
EID Empresa de Investigação e Desenvolvimento de Electrónica, S.A.	38,57%	15.432.505	14.506.490	-6%
EMPORDEF Tecnologias de Informação, S.A. (ETI)	100%	1.833.093	1.594.754	-13%
DEFLOC Locação de Equipamentos de Defesa, S.A.	81%	36.833.824	42.855.673	16%
DEFAERLOC Locação de Aeronaves Militares, S.A.	100%	29.315.264	31.416.637	7%
	TOTAL	281.483.287	298.618.750	6%

Fonte: EMPORDEF (2015).

No que respeita à possibilidade de uso das indústrias, nomeadamente tecnológicas, para duplo uso e a investigação científica e académica, nalguns casos, com alto nível e de reconhecimento internacional, permite-nos considerar que seria importante para Portugal o investimento em novas tecnologias, sobretudo que permitissem contribuições originais para o mercado da defesa, potenciando o seu papel neste domínio, nomeadamente dentro do espaço europeu. Essa contribuição poderia ser assegurada por um investimento nas atividades científicas ligadas à defesa em áreas charneira identificadas no atual Conceito Estratégico de Defesa Nacional (PCM, 2013) e nomeadamente no anterior (PCM, 2003, *apud* Fonseca, Ribeiro e Dias, 2006). No que respeita a Portugal, em termos de metamateriais e também das nanotecnologias, tema base deste trabalho, já existe um pequeno conjunto de centros de investigação muito ativos. Alguns desses grupos estão localizados no Instituto Superior

Técnico, área Científica de Telecomunicações, fazendo apenas investigação teórica, mas são reconhecidos internacionalmente.

O grupo de investigação em Wireless Communications do Instituto de Telecomunicações (IT), agrupa investigadores da Universidade de Lisboa, Universidade de Coimbra e Universidade de Aveiro, com 59 membros permanentes, dos quais apenas dois não são doutorados, tendo 12 desses membros agregação, além de 63 colaboradores, sendo 11 doutorados, 4 com licenciatura e um com agregação, e tem atividade relevante a nível internacional no fabrico de protótipos, maioritariamente na área das antenas e refletores de metamaterial. O Departamento de Polímeros da Universidade do Minho, – Institute for Polymers and Composites (IPC) –, integra 92 membros, 42 dos quais possuem um doutoramento tendo os restantes o grau académico de mestrado, faz funcionalização de substratos, cooperando com a Força Aérea Americana no desenvolvimento de novas funcionalidades para materiais, usando nanotubos de carbono.

Existem no país núcleos de conhecimento que é possível aproveitar, desde que se reforcem sinergias entre os grupos das várias universidades, o que nem sempre é fácil, e se reforcem os investimentos. Provavelmente para uma convergência de esforços bastaria um “Programa de Investigação e Inovação para Tecnologias de Defesa”, sob gestão e supervisão do Ministério da Defesa Nacional e num compromisso com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior através da Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Da consulta da BTID, parece-nos que existem neste momento algumas empresas no país que poderiam ser parceiras nos desenvolvimentos associados aos metamateriais. Encontram-se nessa situação, algumas empresas saídas da ex-EMPORDEF, como serão o caso da LusoSpace que está certificada pela Agência Espacial Europeia (ESA), e que faz desenvolvimentos em optoelectrónica, MEM e sistemas de navegação, dispondo portanto da tecnologia necessária para o fabrico de metamateriais, pelo menos na banda das micro-ondas, e a empresa Spin.Works, que fabrica antenas e UAV.

Não conseguimos encontrar dados com previsões a nível nacional, do crescimento deste setor do mercado, o que não admira, não só por ser uma área de investigação muito recente, e provavelmente, por ainda não haver uma visão de aplicação a curto prazo para a indústria nacional.

No que respeita às nanotecnologias a criação do Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia¹⁴, decidida na XXI Cimeira Luso-Espanhola, em 2005, é uma

14 O Instituto/Laboratório fica localizado em Braga e foi decidido que deveria vir a ter cerca de 200 investigadores de Espanha, Portugal e outros países, com um orçamento operacional anual de cerca de 30 milhões de euros e um investimento adicional de igual valor, assegurados em partes iguais pelos dois países.

iniciativa pioneira de um novo tipo de parceria institucional internacional em ciência e tecnologia na Europa. Com a criação deste instituto pretendia-se reforçar a colaboração científica e tecnológica entre Portugal¹⁵ e Espanha, abrindo-se um novo ciclo nas suas relações e na construção de economias nacionais baseadas no conhecimento.

Após a fase inicial o instituto passou a estar aberto à adesão de outros países e à participação de instituições e de especialistas de todo o mundo, com o objetivo de se constituir como polo de investigação internacional de excelência, desenvolvendo parcerias com instituições do ensino superior e com o sector económico, a promoção da transferência de conhecimento de valor acrescentado e gerador de emprego, e a formação de profissionais especializados. Neste momento, ainda só visa especificamente os temas seguintes: nano medicina – sistemas de diagnóstico, aplicações terapêuticas e libertação controlada de medicamentos – e nanotecnologia para controlo ambiental e para segurança e qualidade alimentar. Transpor-se mais tarde para outras áreas não será muito difícil.

Porém, Portugal é um país que não tem uma cultura de investimento industrial e menos ainda quando se trata de capital de risco. Nas circunstâncias atuais, em que o país ainda se confronta com restrições financeiras e uma forte diminuição do investimento público em investigação, a continuação e desenvolvimento do sector tecnológico da defesa, só poderá fazer-se através de parcerias entre o mundo académico, industrial e militar – como aliás deveria ser timbre –, e recorrendo a parcerias estratégicas com parceiros internacionais.

Conclusões

Ao longo da História e praticamente até ao século XIX, a sociedade civil e militar estiveram intimamente ligadas. Segurança e defesa constituem pilares fundamentais para a espécie humana desde as suas origens.

Na sociedade moderna, e apesar da emergência de grandes conflitos ao longo do século XX, verifica-se um crescente afastamento entre a sociedade civil e militar, divórcio entre ambas também presente na União Europeia, entre a investigação e desenvolvimentos científicos para fins civis e militares, apesar dos esforços da Agência Europeia de Defesa (EDA), para esbater essas fronteiras. Mesmo os discursos do Secretário-Geral da NATO nos últimos anos enfatizam como um alerta, o

15 Envolve a nível académico nacional o INEB e o IBMC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, o IBB da Universidade do Algarve, o I3N da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, o Departamento de Biologia da Escola de Ciências da Universidade do Minho, o IBB da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, o IFIMUP e o IN da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e o CICECO da Universidade de Aveiro.

afastamento da Europa de despesas com defesa, realçando a expressiva dependência, nestes domínios, dos aliados do outro lado do Atlântico.

De modo mais sábio, inversamente, nos EUA, verifica-se uma fusão proveitosa destas duas vertentes, aumentando a competitividade tanto a nível nacional como internacional e revertendo os resultados também para a sociedade civil. São exemplos desta cooperação frutuosa o desenvolvimento dos computadores e da internet, que nasceram devido a necessidades do exército norte-americano e passaram para a sociedade civil dando origem a novas indústrias, novas aplicações e inúmeros centros de investigação por todo o mundo. Este é um exemplo de sucesso de uma estratégia *top-down*, com inúmeras repercussões na sociedade civil a nível global. Mesmo as iniciativas que não tiveram tanto sucesso, ou que falharam a nível militar podem trazer mais-valias para sociedade civil. Referimo-nos por exemplo à iniciativa de Defesa Estratégica, da administração Reagan, conhecida popularmente por “guerra das estrelas”, e que embora não tenha vingado no âmbito militar proporcionou inúmeros desenvolvimentos, tais como o Global Positioning System (GPS) e os inúmeros satélites que asseguram hoje as comunicações e a investigação de recursos.

Esta cooperação deveria ser implementada também no espaço europeu de modo a conduzir, não só a uma maior proximidade nos assuntos militares entre a Europa e os EUA, mas também, porque se tivesse sucesso, conduziria sem dúvida na prática a uma dinamização da investigação europeia, promovendo a excelência da ERA (European Research Area) e contribuindo para a afirmação internacional da Europa. Vale a pena, numa análise económica e tomando como premissa a Teoria das Ondas Longas de Kondratieff, que atribui às economias de raiz capitalista a existência de ciclos de período longo, apreciar o trabalho deste cientista, que morreu vítima da sua honestidade científica num Gulag na Sibéria (Argibay e Pim, 2005). O seu trabalho foi mais tarde retomado por Schumpeter (1939), que no seu livro *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*, considera a existência de três tipos de ciclos: os ciclos de período curto, aproximadamente 40 meses, denominados ciclos de Kitchin; os ciclos de Juglar ou de onda curta, com duração típica entre oito a dez anos; e finalmente os ciclos de onda longa, ciclos “K” ou de Kondratieff, com uma duração entre os 40 a 60 anos. O elemento iniciador dos ciclos de Kondratieff é a inovação técnica disruptiva que conduz a uma mudança radical de paradigma da sociedade.

Joseph Schumpeter (1939) considera na história da economia capitalista três mudanças de paradigma: (1) a revolução industrial, que teve a sua origem numa inovação tecnológica, a máquina a vapor; (2) a idade do aço com a introdução a nível mundial do caminho-de-ferro, deslocando as indústrias das fontes de matéria-prima; (3) a invenção da energia elétrica e do automóvel que alterou não só as formas de produção, mas também a vida em sociedade. Os seus seguidores citam

igualmente os desenvolvimentos tecnológicos da eletrônica de semicondutores e a miniaturização dos aparelhos eletrônicos que constituem hoje a base da sociedade da informação como mais um exemplo de mudança de paradigma.

Creemos que um novo ciclo se avizinha – o sexto ciclo de Kondratieff – motivado pela emergência das nanotecnologias e dos novos materiais, nos quais se enquadram os metamateriais, em combinação com as biotecnologias. Este novo ciclo será também disruptivo, não só a nível da sociedade civil, como dos assuntos militares. A emergência destas tecnologias permite a existência de meios de vigilância e deteção, mais sensíveis, de muito menor dimensão e muito maior sensibilidade, permitindo uma monitorização mais eficiente de grupos de risco e a sua deteção precoce. Os metamateriais permitem fabricar mantos de invisibilidade que permitirão ocultar aviões, veículos de combate e submarinos, além de poderem funcionar como escudos para os soldados em situações de risco. A investigação para estes fins está a ser conduzida, pelo menos nos EUA, pela DARPA. O fabrico de nano-armas é uma possibilidade, que está a ser prosseguida entre outros pela China, e que visa a neutralização também de possíveis focos de contestação, através da modificação da estrutura molecular e comportamental dos focos de contestação. O emprego destas nano-armas poderá, a nível de hipótese plausível, tornar obsoleto o emprego de armas baseadas em energia nuclear, que representaram durante décadas um forte mecanismo dissuasor, mas com riscos elevados para o ambiente e a vida na Terra. Parece-nos clara a relevância dos metamateriais para a segurança e defesa pelos efeitos que se advinham sobre equipamentos, armamentos, e provavelmente táticas e doutrinas e mesmo na economia. Os mercados de metamateriais e paralelamente das nanotecnologias envolvem elevados volumes de dinheiro, de negócios e de empregos, quer nos EUA, quer na China e também na Europa.

No espaço europeu a EDA assume relevância para convergência de esforços na investigação e nos desenvolvimentos da tecnologia, criando bases para uma BTID e um mercado único, não isento de interesses, mas onde todas as tecnologias têm valor e em que numa vasta parte dos *cap techs*, o uso de metamateriais, traz potencialidades acrescidas. A dimensão de um país como Portugal pode não vir a ter expressão nestes domínios em grandes *shares* de negócios internacionais mas a comunidade científica em Portugal e as PME de elevado nível nestas temáticas evidenciam massa crítica de gabarito internacional, ainda que pouco expressiva em quantidade. É exceção pela positiva, o Centro Ibérico de Nanotecnologia, sediado em Braga, o que nos parece mostrar que havendo vontade a quantidade e qualidade da massa crítica manifesta-se.

Quanto à utilização bélica dos metamateriais, arriscamos a dizer que os limites entre a utilização defensiva e ofensiva ainda se mantêm pouco claros. Os mantos de invisibilidade e as superlentes parecem não tornar nítido se os metamateriais são mais ofensivos ou defensivos. Esconder-se pode tornar-se uma técnica intrusiva

que garante enormes facilidades ao invasor/atacante mas também permite defender-se de um adversário sem que este consiga identificar onde está o defensor. Quanto a superlentes para uma atitude ofensiva permite objetivos mais localizados mas em contrapartida permite melhor otimização dos recursos disponíveis na defesa. É indiferenciado dizer se é material mais defensivo ou ofensivo passando a diferenciação para o tipo de atividades exercidas.

Em ambos os casos a resposta é afirmativa, do nosso ponto de vista. Sendo as nanotecnologias e os metamateriais tecnologias recentes de forte impacto, tanto na sociedade civil como nas aplicações militares, o conhecimento nesta área, representado por centros de investigação, por laboratórios, mas também por empresas, constitui uma mais-valia militar (ou seja uma vantagem) para os países que a possuam, permitindo também a sua inserção num mercado global que se configura como uma economia muito promissora. O desprezo destas tecnologias poderá significar a médio prazo uma perda de competitividade semelhante à verificada nos anos 70 e 80 do século XX nos países do Bloco de Leste em relação à informática.

Os desenvolvimentos em metamateriais e novas tecnologias têm aplicações extremamente inovadoras na defesa: os mantos de invisibilidade, as superlentes de Pendry, as antenas de metamaterial e os novos sensores, que irão originar novos desafios nas aplicações militares, de modo a tornar possível a deteção destas novas armas.

Perante isso, o paradigma de funcionamento e utilização de novos armamentos talvez possa mudar. Parece ficar reforçado o princípio de um teatro de defesa global mas com centros de ataque cada vez mais localizados. No que respeita ao funcionamento das armas nano-tecnológicas parece que o princípio da eliminação dá cada vez mais lugar á neutralização e no caso dos metamateriais explora-se a focagem e otimização o que poderá levar a maior localização/centralização de efeitos e um maior controlo dos efeitos/danos colaterais.

Referências Bibliográficas

- Ajayan, P., 2001. *Designing Carbon Nanotube Junctions and Networks*. Atlanta: Interconnect Focus Center Annual Review.
- Alfonso-Meirinho, A., 2010. The Defence Market and the Strengthening of Europe's Defence Technological and Industrial Base, em *European Defence Agency: Past, Present & Future*. Madrid: Ministerio de Defensa de España, Imprenta Ministerio de Defensa, pp. 173-203. [online] Disponível em http://www.portalcultura.mde.es/Galerias/publicaciones/fichero/European_Defence.pdf
- American Rhetoric, 2010. *Dwight D. Eisenhower. Presidential Farewell Address*. Delivered 17 January 1961. [Text version transcribed directly from audio, transcription by Michael E. Eidenmuller] *AmericanRhetoric.com* [online], p. 5. Disponível em <http://www.american>

rhetoric.com/speeches/PDFFiles/Dwight%20D.%20Eisenhower%20-%20Farewell%20Address.pdf.

Andrade, U. R., e Schneider, P. L., 2003. *O Papel Estratégico da Indústria Brasileira de Material de Defesa*. Congresso Brasileiro de Educação de Engenharia (COBENGE), Associação Brasileira de Educação de Engenharia (ABENGE), p. 10. [online] Disponível em <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2003/artigos/ECI921.pdf> [acedido em 12 janeiro de 2015].

Argibay, O. C. e Pim, J. E., 2005. Economia e Defesa: Teoria e Praxe de um Vínculo Atávico, in J. E. Pim, O. E. Argibay e B. Kristensen, eds., *Paz e Segurança para o Século XXI*. Vigo: Instituto Galego de Estudos de Segurança Internacional e da Paz.

BCC Research, 2014. Global Market for Metamaterials to Reach \$1.2 Billion by 2019; Electromagnetic Segment Moving at 20% CAGR, *BCC Research* [online], 10 de julho. Disponível em <http://www.bccresearch.com/pressroom/avm/global-market-metamaterials-reach-1.2-billion-2019> [acedido em 12 de fevereiro de 2016].

Berenguer, F. R., 2010. The Development of Capabilities, em *European Defence Agency: Past, Present & Future*. Madrid: Ministerio de Defensa de España, Imprenta Ministerio de Defensa, pp..

Bevilacqua, L., 1996. *Formação de Pessoal Pós-Graduado no Brasil, Discussão da Pós-Graduação Brasileira*. CAPES, Brasília, Vol. 1.

Carricho, M. A. G., 2006. A Transformação e Integração da Defesa na OTAN e na UE: Novos Desafios, Velhos Problemas, em Carlos A. Carvalho dos Reis, ed., *A Transformação da Defesa*. Lisboa: Academia Militar, pp. 42-76.

Comissão das Comunidades Europeias, 2004. Para uma Estratégia Europeia sobre Nanotecnologias, COM (2004) 338 final, Comunicação da Comissão, Bruxelas, 12.5.2004. *EUR-Lex* [online], pp. 29. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52004DC0338&from=EN> [acedido em 6 de fevereiro de 2016].

Commission of the European Communities, 2004. Towards a European strategy for nanotechnology, COM (2004) 338 final, Communication from the Commission, Brussels, 12.5.2004. *EUR-Lex* [online], pp. 25. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52004DC0338&from=EN> [acedido em 6 de fevereiro de 2016].

Couto, A. C., 2002. Sobre um Conceito Estratégico da UE: Algumas Questões Chave. *Revista Militar* n° 2411, pp. 929-935.

Cruz, C.H. B., 2001. *Desafios Estratégicos para C&T no Brasil*. Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília.

Dinis, J. A. H., 2005. *Guerra de Informação: Perspectivas de Segurança e Competitividade*, Lisboa: Edições Sílabo.

Elwenspoek, M. e Wiegerink, R., 2001. *Mechanical Microsensors*. Berlin: Springer-Verlag,

- EMPORDEF, 2015. *Relatório e Contas 2014*. Empresa Portuguesa de Defesa (EMPORDEF) [online], pp. 14. Disponível em http://www.empordef.pt/documentos/2015/R&C_EMPORDEF_2014_RelatorioGestaoContasIndividuais_Parte1.pdf
- European Defense Agency, 2014a. *Organisation*. European Defense Agency [online]. Disponível em <https://www.eda.europa.eu/Aboutus/who-we-are/Organisation> [acedido em 13 de janeiro de 2015].
- European Defense Agency, 2014b. *Defence Data Portal*. European Defense Agency [online]. Disponível em <http://www.eda.europa.eu/info-hub/defence-data-portal> [acedido a 31 março de 2016].
- Feynman, Richard P., 1959. *There's plenty of room at the bottom*. Comunicação apresentada na conferência da American Physical Society, Pasadena, 29 de dezembro de 1959. [online] Disponível em <http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html>.
- Fonseca, C.A., Ribeiro, C. J. O. e Dias, C. M. M, 2006. Portugal e a Transformação da Defesa, em Carlos A. Carvalho dos Reis, ed., *A Transformação da Defesa*. Lisboa: Academia Militar 2006, pp. 77-109.
- Gaspar, C., 2008. *A NATO e a União Europeia*. Lisboa: Museu do Oriente, 19 de Junho de 2008.
- Governo de Portugal, 2004. *Missões Específicas das Forças Armadas*, (MIFA-04), definidas em Conselho Superior de Defesa Nacional, 21 de Outubro 04.
- GPPQ, s.d.. Orçamento: 4,21 mil milhões EUR (2014-2020). *Gabinete de Promoção do Programa Quadro de I&DT (GPPQ)* [online]. Disponível em in http://www.gppq.fct.pt/h2020/h2020.php?tema=MUQNa_jwwxhBcPF1k_asmHCv3Vm_uR5K33keaq_FomU [acedido em 31 de março de 2016].
- Hamid, A. K., 2005. *Axially Slotted Antenna on a Circular or Elliptic Cylinder Coated with Metamaterials*. Progress in Electrom Research, PIER 51, pp. 329-41.
- Hrbar, S., Bartolic J. e Sipus, Z., 2005. *Waveguide Miniaturization Using Uniaxially Negative Permeability Metamaterial*. IEEE Trans. Antenna & Propagation n° 1 pp. 110-19.
- Huang, M. D. e Tan, S. T., 2008. Efficient Electrically Small Prolate Spheroidal Antennas Coated with a Shell of Double Negative Metamaterials, Progress in Electrom. *Research Pier* n°82, pp. 241-55.
- Hullmann, A., 2006. *The Economic Development of Nanotechnology: An Indicators Based Analysis*. European Commission, version: 28 November 2006, DG Research, Unit "Nano S&T – Convergent Science and Technologies", pp. 34. [online] Disponível em ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanoarticle_hullmann_nov2006.pdf [acedido em 23 de janeiro de 2016].
- Jornal da Ciência [website]. Publicação da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. [online] Disponível em <http://www.jornaldaciencia.org.br/> [acedido em 22 Janeiro 2015].
- Kokkinos, T. C., Sarris, D. e Eleftheriades, G. V., 2005. *Periodic Finite-Difference Time-Domain Analysis of Loaded Transmission-Line Negative-Refractive-Index Metamaterials*. IEEE Trans. MTT, Vol 53, n° 4 pp. 1488-95 .

- Laasme, H. , 2010. L'OTAN et l'Agence de Défense Européenne: Pas un Jeu à Somme Nulle. *Revue de l'OTAN*, pp. 26-27. Disponível em <http://www.nato.int/docu/review/2010/Lisbon-Summit/NATO-EDA/FR/>.
- Markets and Markets, 2016. *Metamaterials Market by Device Type (Antennas, Superlens, Cloaking Devices, Absorbers), Metamaterial Type (Electromagnetic, Terahertz, Photonic, Tunable, Frequency Selective Surface, Non-Linear), Application & Geography – Trends & Global Forecasts to 2025*. Markets and Markets [online]. Disponível em <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/metamaterials-market-139795737.html> [acedido em 26/04/2016].
- Martin, J. I. B., 2010. Cooperation in Armaments, em *European Defence Agency: Past, Present & Future*. Madrid: Imprensa Ministerio de Defensa.
- Medeiros, C. A., 2005. O Desenvolvimento Tecnológico Americano no Pós-Guerra como um Empreendimento Militar, em José Luís Fiori, ed., *O Poder Americano*, pp. 139-178. Petrópolis: Editora Vozes.
- Ministério da Defesa Nacional, 2014. *Missões Específicas das Forças Armadas*, (MIFA-04), definidas em Conselho Superior de Defesa Nacional, 30 de julho de 2014. Disponível em www.fdn.pt/docentes_docs/ma/FPG_MA_27264.pdf [acedido em 15 janeiro de 2016].
- Ministerio de Defensa, 2010. *European Defence Agency: Past, Present & Future*. Disponível em http://www.portalcultura.mde.es/Galerias/publicaciones/fichero/European_Defence.pdf [acedido em 10 de dezembro de 2015].
- NATO, 2016. *Defence Expenditures of NATO Countries (2008-2015)*. Press Release, COMMUNIQUE PR/CP(2016)011, 28 January 2016. NATO, Public Diplomacy Division, pp. 12. Disponível em http://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2016_01/20160129_160128-pr-2016-11-eng.pdf [acedido a 31 Março de 2016].
- NNI, 2012. *NNI Supplement to the President's 2013 Budget*. National Nanotechnology Initiative (NNI), *Nano.gov* [online]. Disponível em <http://www.nano.gov/node/748> [acedido em 13 de fevereiro de 2016].
- NNI, s.d.. *NNI Budget*. National Nanotechnology Initiative (NNI), *Nano.gov* [online]. Disponível em <http://www.nano.gov/about-nni/what/funding> [acedido em 31 de março de 2016].
- Paulo, J. S., 2013. A Importância Estratégica das Indústrias de Defesa. *Nação e Defesa* n.º 135, pp. 172-200.
- PCM, 2015. Resolução do Conselho de Ministros n.º 50/2015, *Diário da República*, 1.ª série, N.º 138, 17 de julho, pp. 4894-4895. Presidência do Conselho de Ministros (PCM). [online] Disponível em <https://dre.pt/application/file/a/69829005>.
- PCM, 2013. Resolução do Conselho de Ministros n.º 19/2013. Conceito estratégico de defesa nacional. *Diário da República*, 1.ª série, N.º 67, 5 de abril. Presidência do Conselho de Ministros (PCM), pp. 1981-1995. [online] Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2013/04/06700/0198101995.pdf>.
- PCM, 2003. Resolução do Conselho de Ministros n.º 6/2003. Conceito estratégico de defesa nacional. *Diário da República*, I Série-B, N.º 16, 20 de Janeiro. Presidência do Conselho de

- Ministros (PCM), pp. 279-287. [online] Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2003/01/016B00/02790287.pdf>.
- Pendry, J. B., *et al.*, 1996. Extremely Low Frequency Plasmon in Metallic Mesostructures. *Physics Revue Letter* n° 76, pp. 4773-76.
- Pereira, L. C. F., 2005. A Europa da Defesa: O Fim do Limbo. *Nação e Defesa* n° 110, pp. 87-127.
- Piquer, T. M., 2010. Research and Technology, em *European Defence Agency: Past, Present & Future*. Madrid: Imprenta Ministerio de Defensa.
- PR Newswire, 2016. *Markets for Metamaterials 2016-2023*. *Yahoo Finance* [online], PR Newswire, London, March 2, 2016, 5:03 PM. Disponível em http://finance.yahoo.com/news/markets-metamaterials-2016-2023-220300936.html;_ylt=A0LEVyYgawjX83MAafNXNyoA;_ylu=X3oDMTByOHZyb21tBGNvbG8DYmYxBHBvcwMxBHZ0aWQDBHNlYwNzcg [accedido em 16 de março de 2016].
- Raffarin, J. P., 2004. Équilibre du Monde, Europe et Défence. *Revue de Défense Nationale* n°669, pp. 5-18.
- Research and Markets, 2015 *Global Nanotechnology Market Outlook 2022* Disponível em <http://www.researchandmarkets.com/reports/3512791/global-nanotechnology-market-outlook-2022> [accedido em 31 de março de 2016].
- Schumpeter, Joseph A., 1939. *Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. New York: McGraw Hill, 2 Vol.
- Shelby, R.A., *et al.*, 2001. Microwave Transmission through a Two-dimensional Isotropic Left-handed Metamaterial. *Science* n° 292, pp. 77-79.
- Shelby, R.A., Smith, D. R. e Schultz, S., 2001. Experimental Verification of a Negative Index of Refraction. *Applied Physics Letter* n° 4, pp. 489-491.
- Silveirinha, M.G. e Engheta, N., 2009. Transporting an Image through a Subwavelength Hole. *Physics Revue Letter* n°102, pp. 103902-06.
- Silveirinha, M.G. e Fernandes, C.A., 2005. Homogenization of 3-D- Connected and Nonconnected Wire Metamaterials. *MTT* n° 4, pp. 1418-30.
- SIPRI, 2016. *Recent Trends in Arms Transfers*. Disponível em <http://www.sipri.org/research/armaments/transfers/measuring/recent-trends-in-arms-transfers> [accedido em 28 de março de 2016].
- Smajic, J., Hafner, C. e Erni, D., 2003. On the Design of Photonic Crystals Multiplexers. *Optics Express* n° 6, pp. 566-571.
- Smith, D. R., *et al.*, 2000. Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity. *Physical Revue Letters*, 84(18), pp. 4184-4187.
- Smith, D. R., *et al.*, 2000. Left-handed Metamaterials, in Costas M. Soukoulis, ed., *Photonic Crystals and Light Localization in 21st Century*. NATO Advanced Studies Institute, pp. 351-372. Disponível em https://www2.bc.edu/~padillaw/PDF/Smith_NATO-ASI_2000b.pdf [accedido em 31 março de 2016].
-

- Sobhani, O., 2010. L'Asie. L'Otan et ses Partenaires: Des Relations Compliquées? *Revue de l'OTAN*, pp. 24-25. Disponível em http://www.nato.int/docu/review/2009/Asia/nato_partner_asia/FR/.
- Soukoulis, C. M., 2006. Bending Back Light: The Science of Negative Index Materials. *Optics and Photonics News*, 17(6), pp. 16-22.
- Telo, A. J., 2006. A Transformação da Defesa ou Revolução Militar? em Carlos A. Carvalho dos Reis, ed., *A Transformação da Defesa*. Lisboa: Academia Militar, pp. 15- 41.
- Timp, G. E., 2000. *Nanotechnology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Topa, A.L.; Paiva, C.R. e Barbosa, A.M., 2005. Novel Propagation Features of Double Negative H-guides and H-guide Couplers, *Microwave Optical Technology Letter* n° 47, p. 185.
- Vasconcelos, Álvaro de, ed., 2009. *What Ambitions for European Defence in 2020?* Paris: EU-ISS.
- Veselago, V.G., 1968. The Electrodynamics of Substances with Simultaneous Negative Values of ϵ and μ . *Soviet Physics, Uspekhi* n° 10, pp. 509-14.
- Yang, X., et al., 2009. Propagation Features of H-Guides with Bianisotropic SRR Metamaterials. *Research Pier* n° 91, pp. 333-348.
- Yao, H.L., et al., 2005. Propagation Property Analysis of Metamaterial Constructed by Conductive SRRs and Wires Using the MGS-Based Algorithm. *MTT* n° 4 pp. 1469-1476.