

Nanopartículas no diagnóstico e tratamento do cancro - oportunidades e desafios

Sara Freitas¹, Sofia Caspani¹, Ricardo Magalhães¹, Célia Sousa¹, João H. Belo¹

¹ IFIMUP, Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

celiasousa@fc.up.pt e jbelo@fc.up.pt

1. Introdução

O envelhecimento e o crescimento da população têm levado a um aumento da incidência de cancro e mortalidade em todo o mundo. Apenas no ano de 2018, a Organização Mundial da Saúde (OMS) contabilizou cerca de 18,1 milhões de novos casos e 9,6 milhões de mortes [1]. Apesar de ser uma das principais causas de morte, as opções de tratamento em alguns tipos de cancro ainda são limitadas, sendo a radioterapia, quimioterapia e cirurgia as principais estratégias terapêuticas. A eficácia destes tratamentos está comprovada, no entanto em alguns tipos de cancro a quimioterapia está limitada por uma falta de seletividade às neoplasias e com uma bioacessibilidade limitada dos medicamentos ao tumor [2]. No caso da radioterapia, esta está limitada pelos tecidos saudáveis circundantes cuja exposição à radiação ionizante deve ser evitada de modo a proporcionar aos pacientes uma melhor qualidade de vida no futuro a médio e longo prazo, bem como a radio-resistência apresentada por algumas neoplasias [3]. Consequentemente, tem crescido o interesse pelo desenvolvimento de novas terapias oncológicas que possuam menos efeitos adversos e que se limitem a matar células tumorais de forma eficiente, poupando as células dos tecidos saudáveis circundantes [4]. Esta estratégia pode passar pelo recurso à nanotecnologia, cujo aparecimento revolucionou os procedimentos de deteção e tratamento do cancro. Esta não só permitiu aumentar a eficácia das terapias existentes através de uma maior capacidade de direcionamento e eficácia localizada do medicamento (limitando a sua toxicidade) como também aprimorou a sensibilidade das técnicas de diagnóstico possibilitando melhores perspetivas para o paciente [5]. Nanotubos de carbono, quantum dots, nanopartículas superparamagnéticas, nanofios, lipossomas, entre outros, são alguns dos materiais utilizados para deteção e/ou tratamento do cancro, alguns já utilizados na prática clínica, outros em ensaios clínicos e muitos na fase de investigação [5].

2. Nanopartículas em medicina

Nanoestruturas são partículas que possuem pelo menos uma dimensão na faixa de tamanhos nanométricos, tipicamente até ~ 100 nm. Indetectáveis pelo olho humano, as nanoestruturas podem exibir propriedades físicas e químicas significativamente diferentes quando comparadas com materiais de maiores volumes ou dimensões. A sua elevada razão entre área de superfície e volume permite que elas interajam, que absorvam radiação específica ou transportem pequenas biomoléculas como ADN, ANR, fármacos, proteínas, entre outras, para o local alvo e, assim, aumentar a eficácia dos agentes terapêuticos [6]. Por outras palavras, o desenvolvimento da nanomedicina permitiu a síntese de nanoestruturas com morfologia precisa e com a possibilidade de modificar a sua superfície de modo a manipular as suas características para aplicações específicas através da sua funcionalização com diferentes tipos de moléculas.

Entre as nanopartículas de primeira geração, surgiu o DOXIL® (cloridrato de doxorubicina, Janssen) que foi o primeiro medicamento nanoformulado a obter aprovação da *Food and Drug Administration* (FDA), em 1995, para aplicação clínica em doentes com Sarcoma de Kaposi associado ao HIV [6]. Recentemente, estas nanopartículas têm sido usadas também no tratamento do cancro da mama, dos ovários e outros tumores sólidos. Ainda na categoria da nanomedicina aplicada a tratamentos oncológicos, existe o ThermoDox® (Celsion) que foi aprovado pela FDA em 2016 como um agente termo-dependente que liberta localmente o fármaco encapsulado (a doxorubicina) quando aquecido a 40 °C e 45 °C. A temperatura cria aberturas no lipossoma que, por sua vez, libertam a doxorubicina diretamente no tumor alvo e ao redor dele. A eficácia deste agente foi verificada em ensaios clínicos em combinação com hipertermia (aumento de calor induzido por fontes externas), onde se verificou que a concentração intratumoral de fármaco aumenta 3,7 vezes quando comparada com o ThermoDox® sem indução de hipertermia [7].

Este é o primeiro de artigo de uma série de artigos para a Gazeta da Física promovida pelo Núcleo Português de Magnetismo (NPM: <https://fisica-materia-condensada.spf.pt/npm>).

Num contexto mais atual, não se pode deixar de referir o uso das nanopartículas nas vacinas que surgiram para combater o COVID-19. Aqui, mais uma vez, as nanopartículas lipídicas são o veículo de transporte e entrega usado nas vacinas da Moderna e Pfizer-BioNTech COVID-19 [8].

Para além das aplicações das nanopartículas no transporte e encapsulamento/libertação de fármacos, estas podem ainda ser desenvolvidas como agentes mediadores de terapias como a hipertermia magnética ou fototerapia. Estas terapias dependentes de nanopartículas, especialmente quando aplicadas concomitantemente com quimioterapia e radioterapia, são abordagens promissoras com enorme potencial para melhorar a eficiência das modalidades de tratamento atuais. Nesta categoria, destacam-se as nanopartículas magnéticas e plasmónicas que podem ser ativadas por estímulos externos tal como radiação eletromagnética ou campos magnéticos. Além disso, estas nanopartículas também podem ser usadas como agentes de contraste em imagem por raios-X ou em ressonância magnética nuclear (RMN).

3. Hipertermia magnética e morte celular por movimento mecânico induzido por campo magnético: oportunidades para as nanopartículas magnéticas

Tal como mencionado anteriormente, existe um interesse crescente em novas modalidades de tratamento oncológico que sejam capazes de controlar os tumores a nível celular e que permitam um tratamento mais localizado com redução dos efeitos secundários induzidos em tecidos saudáveis. Neste contexto, uma abordagem particularmente interessante consiste em destruir células cancerígenas através do uso de nanomagnetes (nanopartículas magnéticas) controlados por campos magnéticos externos. A maioria dos estudos experimentais neste tópico aborda o uso de nanopartículas magnéticas para produzir um aquecimento local no interior do corpo, através da aplicação de um campo

magnético alternado (AC ou AMF em inglês como ilustrado na figura 1) [9].

Esta técnica é conhecida como hipertermia magnética, figura 1(a), sendo as nanopartículas superparamagnéticas de óxido de ferro, especialmente de magnetite ou maghemite, as mais frequentemente usadas para este fim [9].

Uma outra estratégia para a destruição de células cancerígenas usando nanomateriais é conhecida como morte celular por movimento mecânico induzido por campo magnético, figura 1(b). Esta técnica consiste em induzir a morte celular programada pela aplicação de forças nas células, recorrendo ao uso de nanomagnetes controlados por campos magnéticos AC. Ao contrário da hipertermia magnética, esta abordagem não se baseia num aquecimento local, mas sim em forças que o nanomagnete exerce sob a célula causando dano na sua membrana ou organelo celular que leva à apoptose da célula, necessitando de campos magnéticos com requisitos menos exigentes (nomeadamente menor frequência e amplitude) [11]. Para além de nanopartículas magnéticas, outros tipos de nanomateriais, conhecidos como nanoestruturas de alta razão de forma, tais como, por exemplo, nanodiscos, nanofios ou nanotubos, podem ser usados nesta técnica. Adicionalmente, é possível funcionalizar os nanomateriais usados nestas duas abordagens, de modo a torná-los específicos para um determinado tipo de cancro [12].

Em termos de ensaios clínicos, a hipertermia magnética tem sido transferida do laboratório para a prática clínica, nomeadamente para o tratamento do glioblastoma e do cancro da próstata. Por exemplo, a MagForce (Berlín, Alemanha) já realizou vários ensaios clínicos para investigar esta abordagem na terapia do cancro do pâncreas [13]. Contudo, apesar das vantagens promissoras destas duas abordagens para o tratamento do cancro, é necessário mais trabalho de investigação e de investigação translacional para conseguirmos perceber o potencial completo destas estratégias no tratamento do cancro.

4. Fototermia usando nanopartículas plasmónicas

A terapia fototérmica é uma abordagem de tratamento oncológico minimamente invasiva e altamente localizada. Tal como o nome indica, esta baseia-se na conversão de radiação eletromagnética em calor através da estimulação de agentes foto-absorventes, que são administrados no corpo por via intravenosa ou intratumoral. Assim que os agentes se encontrem concentrados dentro do tumor, podem absorver a energia proveniente de uma fonte externa potencializando localmente os efeitos da hipertermia (Figura 2) [14,15]. Nesta técnica, podem ser usados feixes de luz laser com diferentes comprimentos de onda, no entanto a do infravermelho próximo (entre 700 nm e 1100 nm) é tipicamente a fonte de energia mais utilizada nesta técnica. A capacidade de penetração da radiação aliada à transparência parcial dos tecidos biológicos nesta faixa espectral torna-se vantajosa, limitando o aquecimento dos tecidos circundantes saudáveis enquanto os tecidos tumorais são aquecidos e erradicados com grande precisão [14].

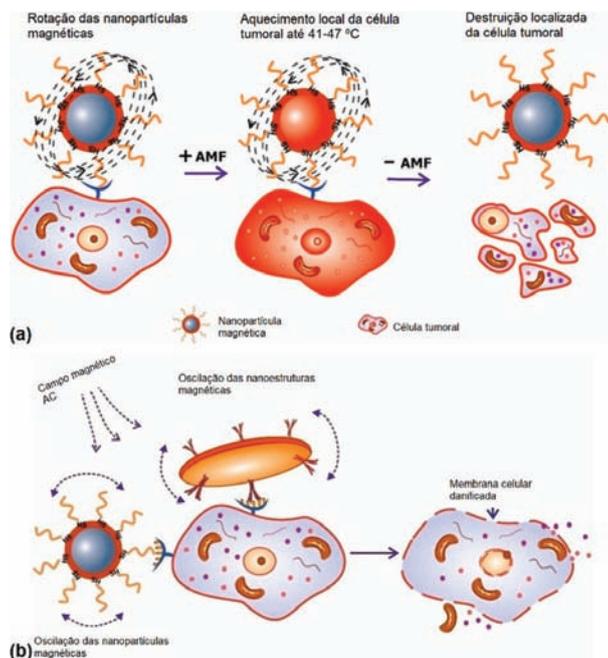


Figura 1 - Conceitos de (a) hipertermia magnética e (b) morte celular por movimento mecânico induzido por campo magnético. Adaptado de [10].

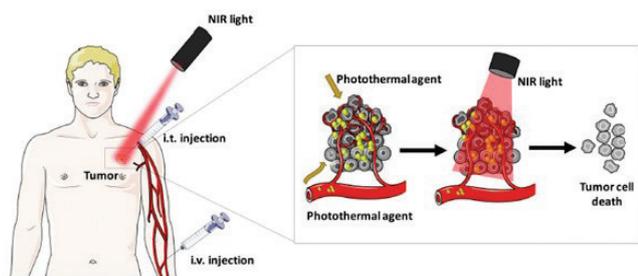


Figura 2 - Esquema ilustrativo da terapia fototérmica [14].

Para serem considerados ideais, os agentes de terapia fototérmica devem reunir certas características tais como biocompatibilidade, tamanho adequado para se acumularem no tumor, capacidade para serem eliminados através de vias metabólicas e excelente eficiência de conversão de luz em calor. Na classe dos nanomateriais, as nanoestruturas de ouro têm sido particularmente exploradas como agentes fototérmicos uma vez que para além de serem versáteis e biocompatíveis, é possível controlar e relacionar as suas propriedades físico-químicas com o seu tamanho e morfologia. Por outras palavras, a estrutura das nanopartículas de ouro pode ser desenhada especificamente para garantir que elas apresentem um máximo de absorção da radiação eletromagnética na região espectral desejada, ou seja, com elevada absorção na região do infra-vermelho próximo [15]. Para além disto, o ouro ainda é considerado uma plataforma de fácil funcionalização, permitindo que a superfície destas nanoestruturas seja conjugada com moléculas com a capacidade de prolongar o tempo de circulação e/ou aumentar a penetração tumoral [14]. Embora a fototerapia mediada por nanopartículas de ouro já tenha demonstrado resultados promissores in vivo (com alguns modelos animais) para diferentes tipos de cancro, na prática clínica ainda há desafios que têm de ser ultrapassados. A capacidade finita de penetração da radiação em profundidade, por exemplo, pode afetar a eficácia do tratamento e limitar esta técnica a tumores mais superficiais, como o caso do cancro da mama ou o cancro colorrectal [14,15]. Este último ponto pode ser contornado recorrendo a fibras ópticas direcionadas para os tumores mais profundos [14].

Atualmente, terapias baseadas em hipertermia não são aplicadas individualmente em prática clínica, mas sim como uma modalidade terapêutica adjuvante que aumenta a eficácia dos tratamentos convencionais. A combinação das diferentes modalidades pode resultar num efeito sinérgico que deixa os tumores mais suscetíveis, aumentando as chances de erradicação completa do tumor com uma redução da dosagem de drogas, nanopartículas e radiação [14,16].

5. Nanopartículas em imagem médica

A deteção precoce e o diagnóstico de doenças são uma parte crucial na prática clínica, especialmente em doenças oncológicas. A tecnologia de imagiologia médica desempenha um papel fundamental na deteção precoce e na avaliação da evolução da resposta terapêutica num vasto conjunto de doenças. As tipologias de imagiologia

usadas atualmente incluem: radiografia por raios-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética (IMR), ultrassons, tomografia de positrões, tomografia computadorizada de emissão de fóton único e fluorescência. De modo a obter informação anatómica e funcional mais precisa, são tipicamente necessários agentes de contraste que permitem amplificar o contraste entre tecidos normais e lesões. Os agentes de contraste usados normalmente são pequenas moléculas com metabolismo rápido que têm uma distribuição não-específica e por vezes apresentam uma potencial toxicidade indesejada [17]. Recentemente, alguns nanomateriais têm revelado um grande potencial no aperfeiçoamento das técnicas de deteção e imagiologia médica. Em particular, já foi demonstrado que: i) nanopartículas (super)paramagnéticas conseguem amplificar mudanças de sinal em ressonância magnética; ii) nanopartículas de ouro ou nanopartículas "quantum dots" tornam-se visíveis em microscopia eletrónica e em fluorescência, respetivamente [18]. Assim, diferentes partículas estão a ser desenvolvidas para maximizar várias funcionalidades, tais como o aumento de sensibilidade e/ou absorção e a modulação de energia [19].

O objetivo desta secção é fundamentalmente ilustrar alguns dos exemplos paradigmáticos do uso de nanopartículas em ressonância magnética. A imagiologia por ressonância magnética é uma técnica não-invasiva muito poderosa, que permite a visualização tridimensional de tecidos orgânicos. Na imagiologia por ressonância magnética, o uso de agentes de contraste permite aumentar a sensibilidade e a especificidade da técnica, como é claramente demonstrado na Figura 3. Os agentes de

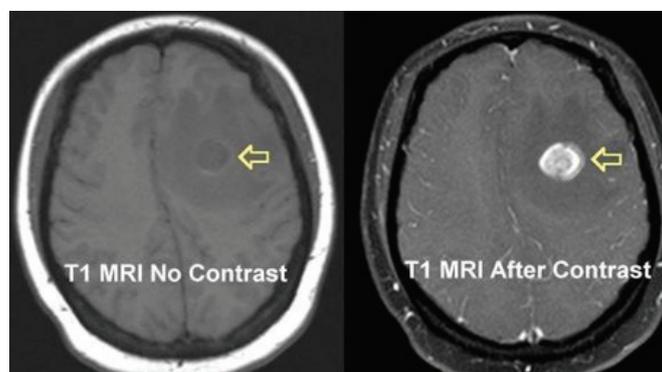


Figura 3 - Efeito da aplicação do contraste em imagens de ressonância magnética.

contraste mais utilizados na prática clínica são complexos de Gadolínio paramagnéticos. No entanto, estes complexos moleculares apresentam várias desvantagens como por exemplo o seu curto tempo de circulação e a sua relativa toxicidade, que podem causar vários efeitos secundários tais como a fibrose sistémica nefrogénica [20]. Estas dificuldades podem ser ultrapassadas com o uso de nanopartículas de óxidos de ferro – que têm sido amplamente investigadas como agentes de contraste seguros. Estas nanopartículas apresentam baixa toxicidade, são biodegradáveis, quimicamente estáveis e apresentam uma suscetibilidade magnética elevada mesmo a reduzidos campos magnéticos. Em particular, as nanopartí-

culas superparamagnéticas de óxidos de ferro (SPION), que são formadas por pequenos (< 50 nm) cristais de óxidos de ferro, já demonstraram melhorias significativas no contraste obtido em imagens de ressonância magnética. De um modo geral, todas as nanoestruturas podem ser revestidas ou conjugadas com diferentes moléculas para promover a sua especificidade e funcionalização. Neste contexto, a ligação de SPION com “pegylated dendrons” hidrofílicos permite reprodutibilidade e multifuncionalização, enquanto que a ligação com “lactoferrin” resulta num aperfeiçoamento da visualização de gliomas cerebrais.

De modo a aumentar a sua biocompatibilidade, a solubilidade na água e o tempo de circulação na corrente sanguínea, os SPION podem ser funcionalizados com diferentes entidades tais como moléculas “peptide amphiphile”, polietileno e polietileno glicol. Por sua vez, para aumentar a sua seletividade para com células cancerígenas específicas, os SPION podem ser conjugados com anticorpos específicos. Para além dos óxidos de ferro, a investigação científica tem-se dedicado ao estudo de nanoestruturas com outras composições químicas tendo em vista a melhoria de contraste em imagiologia [21]. Por exemplo, as nanopartículas dopadas com lantanídeos, são fortes candidatas a agentes de contraste. Paralelamente, nanopartículas de NaGdF_4 têm sido desenvolvidas como agentes de contraste multimodais e em *upconversion imaging*. Por seu lado, iões de Dy^{3+} e Ho^{3+} exibem características magnéticas muito úteis para ressonância magnética de campos elevados, dados os seus curtos tempos de relaxação e o seu momento magnético elevado. Outras partículas de elevado interesse são os nanocompósitos à base de manganês (óxidos de manganês e ferrites de manganês) que têm demonstrado elevado potencial de contraste positivo em IMR.

Mais recentemente, o uso de nanoestruturas antiferromagnéticas (fase magnética com spins orientados antiparalelamente) tem sido estudado devido ao seu duplo contraste positivo e negativo – dadas as suas propriedades magnéticas únicas, tais como a elevada magnetização de saturação a baixo campo. Em particular, o uso de nanofios magnéticos tem sido muito explorado para esta aplicação. Neste contexto, nanofios de Fe, Ni e segmentados de Fe/Au, Fe/Pt e Fe/Ni, com diferentes revestimentos, têm demonstrado um elevado potencial como agentes de contraste [19]. Para além de ressonância magnética, as nanopartículas também têm sido exploradas para outras técnicas de imagiologia. Por exemplo, nanopartículas de ouro são tipicamente usadas em tomografia computadorizada, em conjunto com iodo e bismuto em PET, em SPECT e em imagiologia ótica e fotoacústica. Para além das nanopartículas de ouro, outras nanoestruturas têm sido desenvolvidas tais como o tecnécio em SPECT e os *quantum dots* em imagiologia ótica [17].

6. Teranóstico: vantagens de poder ter imagem e tratamento em simultâneo

O termo “teranóstico” resulta da combinação de dois conceitos já abordados nas secções anteriores – terapia e diagnóstico [14,22]. Consiste, portanto, numa estra-

tégia inovadora cujo objetivo é reunir no mesmo nanomaterial as duas modalidades (terapia e imagem). Desta forma, os nanomateriais são em geral sistemas multifuncionais e biocompatíveis que permitem simultaneamente diagnosticar, administrar terapia e monitorizar a resposta à mesma. Nanopartículas de ouro são um bom exemplo porque para além de serem agentes de imagem eficazes com um elevado potencial de contraste (secção 5) também podem ser utilizados em técnicas terapêuticas como a fototerapia (secção 3). Esta abordagem apresenta diversas vantagens tais como: i) um diagnóstico aprimorado, ii) efeitos colaterais reduzidos para tecidos normais, iii) eliminação de procedimentos de várias etapas que, por sua vez, se traduzem numa redução dos atrasos no tratamento e atendimento do paciente. Tudo isto em paralelo com a possibilidade de localização do tumor e monitorização em tempo real da temperatura local, superando uma das principais desvantagens dos atuais métodos de hipertermia a nível clínico [14,22].

7. Conclusão

A nanomedicina aliada à exploração das propriedades únicas das nanopartículas tem vindo a melhorar a capacidade de deteção e diagnóstico do cancro e aumentar a especificidade dos tratamentos de células cancerígenas. Para além do DOXIL®, nanopartícula de primeira geração com aplicações no tratamento do cancro da mama, dos ovários e outros tumores sólidos, já outros tratamentos têm sido desenvolvidos. Nestes, as nanopartículas atuam como agentes mediadores de terapias e são ativadas por estímulos externos como campos magnéticos ou radiação eletromagnética. Nesta categoria destacam-se a hipertermia magnética e a fototerapia. A hipertermia magnética consiste em destruir células cancerígenas através do uso de nanomagnetes (nanopartículas magnéticas) que são controladas por campos magnéticos externos alternados. Estes campos produzem um aquecimento local no interior do corpo que induz a apoptose, ou morte celular programada. Nanopartículas superparamagnéticas de óxido de ferro, especialmente de magnetite ou maghemite são as mais usadas nesta técnica. Por outro lado, a terapia fototérmica, outra abordagem de tratamento oncológico minimamente invasiva e altamente localizada, baseia-se na conversão de radiação eletromagnética em calor através da estimulação de agentes foto-absorventes que são administrados no corpo por via intravenosa ou intratumoral. Assim que os agentes se encontram concentrados dentro do tumor, podem absorver a energia proveniente de uma fonte externa potencializando localmente os efeitos da hipertermia. Nanoestruturas de ouro têm sido particularmente exploradas como agentes fototérmicos uma vez que para além de fornecerem uma plataforma de fácil funcionalização e serem biocompatíveis, têm uma elevada absorção na região do infra-vermelho próximo. A nível da deteção de cancro, alguns nanomateriais como nanopartículas (super)paramagnéticas, nanopartículas de ouro ou nanopartículas “*quantum dots*” têm revelado um grande potencial no aperfeiçoamento das técnicas convencionais de imagiologia médica. Neste campo, diferentes partículas estão a ser desenvolvidas para maximizar várias fun-

cionalidades, tais como o aumento de sensibilidade e/ou absorção e a modulação de energia.

As recentes descobertas e o elevado ritmo e esforço colocado neste tópico de investigação leva a crer que, num futuro mai próximo do que o esperado, vejamos a nanomedicina “entrar” no dia-a-dia dos protocolos de diagnóstico e terapêutica dos centros oncológicos.

Referências

- [1] International Agency for Research on Cancer, “Latest global cancer data: Cancer burden rises to 18.1 million new cases and 9.6 million cancer deaths in 2018” [Online, available on: <https://www.iarc.who.int/featured-news/latest-global-cancer-data-cancer-burden-rises-to-18-1-million-new-cases-and-9-6-million-cancer-deaths-in-2018/>].
- [2] A. Shapira et al. “Nanomedicine for targeted cancer therapy: Towards the overcoming of drug resistance,” *Drug Resistance Updates*, 14, 3, p. 150-163 (2011).
- [3] M. Bañobre-Lopez et al. “Magnetic nanoparticle-based hyperthermia for cancer treatment,” *Reports of Practical Oncology Radiotherapy*, 18, 6, p. 397-400 (2013).
- [4] Pucci, C. et al. “Innovative approaches for cancer treatment: current perspectives and new challenges” *Ecancermedicalscience*, 13, 961 (2019).
- [5] Kemp, J.A et al. “Cancer nanotechnology: Current status and perspectives” *Nano Convergence* 8, 34 (2021).
- [6] Raj, S. et al. “Specific targeting cancer cells with nanoparticles and drug delivery in cancer therapy” *Seminars in cancer biology*, 69, 166-177 (2021).
- [7] Anselmo, A. C. et al. “Nanoparticles in the clinic: An update. *Bioengineering & translational medicine*”, 4, 3 (2019).
- [8] Anselmo, A. C et al. “Nanoparticles in the clinic: An update post COVID-19 vaccines. *Bioengineering & translational medicine*”, Advance online publication, 6, 3 (2021).
- [9] Chang, David, et al. “Biologically targeted magnetic hyperthermia: Potential and limitations.” *Frontiers in pharmacology* 9, 831 (2018).
- [10] Belyanina, Irina, et al. “Targeted magnetic nanotheranostics of cancer.” *Molecules* 22.6, 975 (2017).
- [11] Wong, De Wei, et al. “Magneto-actuated cell apoptosis by biaxial pulsed magnetic field.” *Scientific Reports* 7.1, 1-8 (2017).
- [12] Peixoto, L., et al. “Magnetic nanostructures for emerging biomedical applications.” *Applied Physics Reviews* 7.1, 011310 (2020).
- [13] Liu, Xiaoli, et al. “Comprehensive understanding of magnetic hyperthermia for improving antitumor therapeutic efficacy.” *Theranostics* 10.8, 3793 (2020).
- [14] Granja, A. et al. “Gold nanostructures as mediators of hyperthermia therapies in breast cancer”. *Biochem Pharmacol.* 190:114639 (2021).
- [15] Liang Cheng et al. “Functional Nanomaterials for Phototherapies of Cancer” *Chem. Rev.* 114, 21, 10869-10939 (2014).
- [16] Keywan Mortezaee, et al. “Synergic effects of nanoparticles-mediated hyperthermia in radiotherapy/chemotherapy of cancer” *Life Sciences*, 269, 119020 (2021).
- [17] S. Sim, et al. “Nanotechnology and its use in imaging and drug delivery (Review),” *Biomedical Reports*, 14, 42 (2021).
- [18] S. Siddique et al. “Application of Nanomaterials in Biomedical Imaging and Cancer Therapy,” *Nanomaterials*, 10, 1700, (2020).
- [19] X. Han et al. “Applications of Nanoparticles in biomedical imaging,” *Nanoscale*, 11, 799-819 (2019).
- [20] S. Caspani et al. “Magnetic Nanomaterials as Contrast Agents for MRI,” *Materials*, 13, 11, p. 2586 (2020).
- [21] A. Singh et al. “Nano-particle Sensor for Biomedical Applications: Bioimaging,” *AIP Conference Proceedings*, 2220, 1, p. 020186 (2020).
- [22] Palekar-Shanbhag, et al. “Theranostics for cancer therapy. *Current drug delivery*”, 10, 3, 357-362 (2013).



Sara Freitas, é licenciada em Física pela Universidade do Minho e mestre em Física Médica pela FCUP (Faculdade de Ciências da Universidade do Porto). Atualmente a Sara trabalha como investigadora, dando continuidade ao trabalho iniciado durante a sua tese de mestrado

na área da nanotecnologia. O seu trabalho envolve a síntese e caracterização de nanoestruturas magnéticas (ferro) e plasmónicas (ouro) por Ablação a Laser em Líquidos. Em paralelo, o seu trabalho também envolve uma avaliação da eficiência de aquecimento de *nanorods* de ouro quando estimulados com um laser contínuo, que opera na faixa do infravermelho próximo.



Célia Tavares de Sousa, é doutorada em Física, atualmente Investigadora Auxiliar no IFIMUP, uma unidade de investigação da FCUP. A Célia também é membro da direção da delegação norte da SPF e da direção do Núcleo Português de Magnetismo ([https://fisica-materia-](https://fisica-materia-condensada.spf.pt/npm)

[condensada.spf.pt/npm](https://fisica-materia-condensada.spf.pt/npm)). O seu trabalho atual está focado no desenvolvimento de nanomateriais para aplicações biomédicas. Tem vários trabalhos publicados na síntese e caracterização de nanoestruturas magnéticas para o diagnóstico e tratamento do cancro, bem como nanopartículas plasmónicas para a terapia fototérmica. Recentemente estabeleceu colaborações com vários hospitais (Fundação Champalimaud, Lisboa, e Hospital Gregório Maranhão, Madrid) para promover a investigação transacional.



Sofia Caspani, é licenciada em Engenharia Física pelo Politecnico di Milano (Itália) e mestre em Física Médica pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (2019). Durante a sua tese de mestrado, a Sofia desenvolveu nanomateriais magnéticos com aplicações bio-

médicas no IFIMUP e participou em diversos projectos científicos. Desde 2021, é aluna de doutoramento do programa doutoral MAP-Fis nos tópicos de Física Médica, Engenharia e Nanomateriais.



João H. Belo, é um físico dedicado ao estudo de materiais magnéticos e às suas transições de fase – particularmente motivado pelas questões científicas e oportunidades tecnológicas que emergem com o confinamento espacial. O João concluiu o seu doutoramento em Física

pela Universidade do Porto em 2017 e é actualmente Investigador Júnior no IFIMUP-Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Conta com 35 artigos científicos, 2 capítulos de livros, 1 patente submetida e com experiência como PI de projectos internacionais, como Professor Universitário, como orientador de vários alunos de mestrado/doutoramento e é membro da direção do Núcleo Português de Magnetismo (<https://fisica-materia-condensada.spf.pt/npm>).



Ricardo Magalhães, completou o seu mestrado em Física Médica em 2018 pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, depois de se ter licenciado em Genética e Biotecnologia na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. O seu trabalho como investigador co-

meçou com uma bolsa de Investigação Marie Curie na Universidade do País Basco e mais tarde como bolseiro do projecto GreenNanoSensing. Actualmente é aluno de doutoramento com uma bolsa de doutoramento FCT (referência SFRH/BD/148563/2019) a trabalhar no IFIMUP-FCUP. O seu trabalho foca-se nos tópicos de Física, Engenharia de Materiais e Nanomateriais.