

Imagens Magnéticas e Térmicas

>
Nuno J. O. Silva

Magnetic and Thermal Images. *A picture is worth a thousand words, and it is also clear that an image of experimental data is worth a thousand columns of data. This article presents a brief description of the images whose experimental results are a magnetic response and a thermal response.*

Uma imagem vale mais que mil palavras e é também claro que uma imagem de resultados experimentais vale mais que mil tabelas de dados. Neste artigo, apresenta-se uma breve descrição das imagens onde esses resultados experimentais são uma resposta magnética e uma resposta com a temperatura.

Uma imagem captura informação organizada no espaço, que nos chega à distância na forma de onda/partícula/campo. Assim é com os nossos olhos, que capturam fótons numa superfície usando uma matriz de sensores, de modo que esses fótons nos dão informação sobre a sua fonte e sobre a matéria com a qual interagiram até chegarem a nós. Assim é com as nossas mãos, com toda a nossa pele, que captura essencialmente campos eletrostáticos à superfície dos objetos dos quais se aproxima, formando uma imagem por varrimento dessa superfície. A nossa pele forma também uma imagem da temperatura e das propriedades térmicas dessa superfície à medida que troca calor com estas, explorando a resposta térmica de proteínas de membrana, como nos ensinou David Julius, Prémio Nobel da Medicina em 2021 [1].

A nossa visão e o nosso tato mostram-nos dois princípios básicos de obtenção de uma imagem: a recolha da informação numa matriz de sensores e a recolha da informação por varrimento de um sensor. São esses os dois princípios básicos usados na maioria dos equipamentos de imagem. Foi também um destes princípios o usado para obter as primeiras imagens de campos magnéticos [2], com a subtil diferença de usar uma matriz de sensores móvel sobre uma superfície, sendo a imagem constituída pela densidade desses sensores. Até que nos anos 70 do século XX, Paul Lauterbur e Peter Mansfield fizeram algo substancialmente diferente para obter uma imagem: restringiram e codificaram a interação entre o objeto e a onda/partícula/campo usado para produzir a imagem [3]. Creio que Mansfield tinha em mente apenas a ressonância magnética, enquanto que Lauterbur apresentou o conceito de uma forma geral, mostrando ao mesmo tempo a sua aplicação na ressonância magnética.

A ideia original de Lauterbur foi usar um primeiro campo capaz de interagir com todo o objeto e um sensor capaz de captar o resultado dessa interação [3].

Ao mesmo tempo, aplicou-se um segundo campo capaz de restringir a interação entre o primeiro campo e o objeto a uma zona bem definida do espaço, de modo a saber-se que a informação que chega ao sensor vem dessa zona e não de todo o espaço. Este segundo campo é também capaz de codificar a posição do espaço de onde vem a informação. Isto porque a interação entre o segundo campo e o objeto depende da intensidade do segundo campo. No caso da ressonância magnética, o segundo campo é um campo magnético cuja intensidade varia linearmente numa direção do espaço, fazendo com que a frequência de ressonância dos spins varie também linearmente nessa direção. Deste modo, ao analisar-se a contribuição de um conjunto de frequências recolhidas no sensor, sabe-se a posição de onde vieram, podendo-se reconstruir uma imagem.

A região de comprimentos das ondas eletromagnéticas denominada luz visível interage, substancialmente, e à distância, com os eletrões de vários elementos que são capazes de, por exemplo, transitar entre níveis de energia, absorvendo essa luz, ou alterando a sua direção, provocando o seu espalhamento. Desse modo, muitos objetos, incluindo o nosso corpo, são opacos, não são atravessados pela luz visível. O mesmo não acontece com os campos magnéticos: somos essencialmente transparentes a esses campos, porque as interações são menos intensas e de mais curto alcance. Se a luz visível se depara com uma parede de campos elétricos à superfície do nosso corpo, os campos magnéticos deparam-se essencialmente com o vazio, interagindo com o spin de alguns núcleos e com o spin e momento magnético angular de alguns eletrões. Este facto cria desafios à deteção dessa interação, mas, ao mesmo tempo, abre a possibilidade de obter imagens 3D em profundidade. Sempre que fazemos “uma ressonância”, estamos a fazer uma imagem da resposta magnética dos núcleos dos prótons (Figura 1, coluna da esquerda).

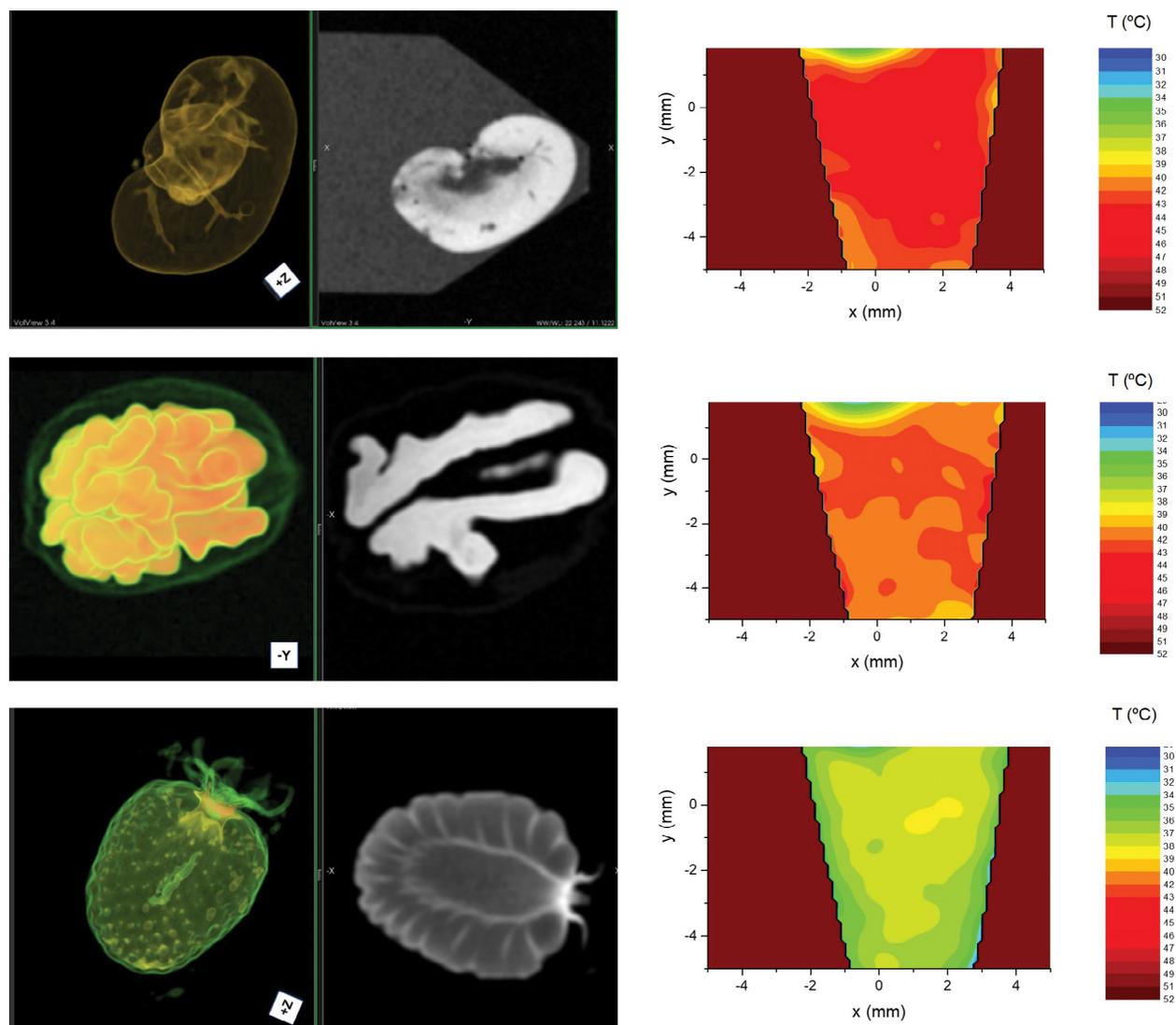


Figura 1 - Exemplos de imagens obtidas por Ressonância Magnética Nuclear na Universidade de Aveiro. Na coluna da esquerda, imagem do rim de um pequeno roedor, imagem de uma noz e imagem de um morango (imagens 3D e imagens de uma secção 2D). À direita, imagens térmicas de um líquido colocado dentro de um tubo eppendorf em processo de arrefecimento.

Saliente-se esta ideia: imagem da resposta magnética. Se essa resposta magnética tiver uma relação direta com outra propriedade ou grandeza mensurável, como é o caso da temperatura, então ter-se-á uma imagem dessa grandeza. É este o tema central do projeto ThermoRise [4]: desenvolver sistemas magnéticos capazes de fornecer imagens 3D da temperatura, próximo da temperatura fisiológica. Nos últimos anos, foram desenvolvidas nanopartículas com baixa toxicidade e estáveis a pH fisiológico, cuja resposta magnética depende fortemente da temperatura, permitindo gerar imagens térmicas (Figura 1, coluna da direita) [5]. Desenvolveram-se, também, hidrogéis de nanopartículas que produzem contraste em ressonância magnética, sendo este contraste gravável magneticamente. Um disco duro de tecnologia magnética grava informação alterando a direção espacial de spins numa superfície 2D, direção esta que fica congelada e disponível para ser lida a qualquer momento. Os hidrogéis magnéticos desenvolvidos são graváveis magneticamente e passíveis

de serem lidos nas três dimensões espaciais. Ao levar as ideias de gravação magnética para o mundo dos *soft materials*, conseguiu-se, por exemplo, criar imagens do processo de agregação de células e formação de tecidos, assim como imagens da formação de núcleos necróticos em agregados celulares.

Continuando a história da imagem magnética, mais recentemente, a ideia de obtenção de imagem por codificação no espaço de uma propriedade espectroscópica juntamente com a ideia de varrimento dessa codificação foi explorada para fazer a imagem de objetos mais magnéticos do que os núcleos atômicos: as nanopartículas magnéticas [6]. Num campo magnético alternado da ordem das dezenas

de kHz, o spin das nanopartículas tende a seguir o campo, sendo possível medir esta resposta. A forma de medir essa resposta de um objeto como um todo é relativamente simples. O desafio era medir essa resposta com resolução espacial: saber de que zona do espaço vem, se é homogênea, ou seja, formar uma imagem dessa resposta. A solução apresentada pelos investigadores da Philips foi sobrepor um campo não oscilante, com um gradiente capaz de silenciar seletivamente uma porção do espaço, selecionando a região onde a informação é recolhida e fazendo um varrimento dessa região. Tudo isto acontece nas dezenas de kHz, resultando em resoluções temporais na ordem do milissegundo, tornando esta técnica a tomografia mais rápida [7]. Mais uma vez, é uma tomografia de uma resposta magnética, que pode, por exemplo, revelar em tempo real o batimento cardíaco de um rato em cuja circulação sanguínea foram introduzidas nanopartículas magnéticas [7], ou revelar a obstrução de um vaso sanguíneo. Se a resposta magnética estiver intimamente ligada à resposta de uma determinada grandeza física, então ter-se-á uma imagem de elevada resolução temporal dessa grandeza. É este o tema central do projeto

4DNanoTherm: desenvolver sistemas magnéticos capazes de fornecer imagens 3D da temperatura com elevada resolução temporal.

Enquanto espécie, não temos sensores magnéticos como equipamento de série. Outras espécies têm-nos [8]. Mas temos sido capazes de desenvolver sensores para medir campos magnéticos e capazes de produzir imagens desses campos, que nos dão informação valiosa sobre a morfologia de diversos objetos e sobre as grandezas físicas diretamente relacionadas com as propriedades magnéticas, como é o caso da temperatura.

Agradecimentos

Agradeço ao Professor João Rocha e à Dr.^a Filipa Sousa as valiosas sugestões e revisão do texto. Agradeço à Joana Soeiro a realização das imagens apresentadas. Agradeço ao CICECO – Aveiro Institute of Materials, UIDB/50011/2020 & UIDP/50011/2020, financiado por fundos nacionais pela FCT//MCTES, ao projeto PTDC/NAN-MAT/3901/2020 (DOI: 10.54499/PTDC/NANMAT/3901/2020) financiado pelo POCI, FEDER e FCT/MCTES, e ao projeto ERC-2019-CoG-865437 financiado pelo *European Research Council* (ERC), no âmbito do programa *European Union's Horizon 2020*.

Referências

- [1] M. J. Caterina, M. A. Schumacher, M. Tominaga, T. A. Rosen, J. D. Levine, D. Julius, *Nature* **1997**, 389, 816–824. DOI: 10.1038/39807.
- [2] L. W. McKeehan, W. C. Elmore, *Phys. Rev.* **1934**, 46, 226. DOI: 10.1103/PhysRev.46.226.
- [3] P. C. Lauterbur, *Nature* **1973**, 242, 190–191. DOI: 10.1038/242190a0.
- [4] *Rise of the 3rd dimension in nanotemperature mapping* | ThermoRise | Project | Fact sheet | H2020 | CORDIS | European Commission (europa.eu). cordis.europa.eu/project/id/865437 (acedido em 24/03/2024).
- [5] J. F. Soeiro, R. A. Pereira, R. Oliveira-Silva, F. L. Sousa, V. M. Gaspar, J. F. Mano, Á. Millán, C. Innocenti, M. Mariani, A. Lascialfari, N. J. O. Silva, *ChemRxiv* **2024**. DOI: 10.26434/chemrxiv-2024-7w4xg.
- [6] B. Gleich, J. Weizenecker, *Nature* **2005**, 435, 1214–1217. DOI: 10.1038/nature03808.
- [7] Magnetic Particle Imaging | MPI System | Preclinical | Bruker. [bruker.com/en/products-and-solutions/preclinical-imaging/mpi.html](https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/preclinical-imaging/mpi.html) (acedido em 24/03/2024).
- [8] H. Mouritsen, *Nature* **2018**, 558, 50–59. DOI: 10.1038/s41586-018-0176-1.

>

Nuno João de Oliveira e Silva

Departamento de Física e Departamento de Química, Universidade de Aveiro.

CICECO – Aveiro Institute of Materials.

Nuno Silva é Investigador Principal da Universidade de Aveiro, onde desenvolve o seu trabalho no estudo e desenvolvimento de nanopartículas magnéticas.

nunojoao@ua.pt

ORCID.org/0000-0003-2260-1192