

**50**  
anos  
1974-2024

Lasers Ultra-Rápidos · Computação Quântica  
Inteligência Artificial em Física · 50 Anos da SPF

# FÍSICA 2024

Coimbra | 11 a 14 setembro

24ª CONFERÊNCIA NACIONAL DE FÍSICA

34º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA



## FÍSICA2024 – COMISSÃO ORGANIZADORA

- Fernando Amaro (UC)
- Filipa Borges (UC)
- Luís Fernandes (UC)
- Sandra Soares (UBI)
- Lígia Lopes (UBI)
- Lara Carramate (UA)
- António Castanhola (UC)
- Afonso Marques (UC)
- Rita Roque (UC)
- Pedro Silva (UC)
- Marta Henriques (UC)

## FÍSICA2024 – COMISSÃO CIENTÍFICA

- João Horta Belo (UP)
- Ana Luísa Silva (UA)
- Carlos Silva (UL)
- Jorge Sampaio (UL)
- Marta Fajardo (UL)
- Paulo Relvas (UAIG)
- Luís Matias (UL)
- João Santos (UTAD)
- Maria do Carmo Lopes (UC)
- Pedro Teles (UP)
- Manuel Marques (UP)
- Gonçalo Figueira (UL)
- Fernando Nogueira (UC)
- Ricardo Gonçalo (UC)
- Nuno Castro (UM)
- Raul Sarmento (LIP-Minho)
- Sofia Andringa (LIP-Lisboa)
- Orlando Oliveira (UC)
- João Cruz (UNL)
- Constança Providência (UC)
- Alfred Stadler (UÉvora)

## 34º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA – COMISSÃO ORGANIZADORA

- Maria Deolinda Campos (DESPF/AEAS)
- Telma Esperança (UC)
- Luís Afonso (SPF/AE Benfica)
- Verónica Tricio Gómez (UBurgos)
- María Fernanda Miguez Pose (USantiago de Compostela)

## 34º ENCONTRO IBÉRICO PARA O ENSINO DA FÍSICA – COMISSÃO CIENTÍFICA

- Deolinda Campos (DESPF/AEAS)
- Fernando Nogueira (UC)
- Ana Mota (UP)
- Marília Peres (UL)
- José María Pastor Benavides (RSEF)
- Manuel Alonso Sánchez (IES de Alicante)

## SECRETARIADO E COMUNICAÇÃO

- Maria José Couceiro (SPF)
- Natália Cristina Antunes (DF-UC)

## PROMOTORES



## APOIOS





## PALESTRAS CONVIDADAS

# DEPRESSA TAMBÉM SE VAI AO LONGE: CIÊNCIA E TECNOLOGIA ULTRA-RÁPIDAS E OS PRÉMIOS NOBEL DE 2018 E 2023

**Helder Crespo**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Dep. de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal

<sup>2</sup> Afiliação actual: Central Laser Facility, Rutherford Appleton Laboratory, Reino Unido

E-mail de contacto: [helder.crespo@stfc.ac.uk](mailto:helder.crespo@stfc.ac.uk)

## RESUMO

Imagine poder assistir, em tempo real, aos processos mais rápidos da Natureza, como a formação de uma molécula de água a partir de átomos de hidrogénio e oxigénio. Esses eventos ocorrem em apenas milésimos de milionésimo de milionésimo de segundo! Não, não é erro - é a escala de tempo incrivelmente diminuta que estamos a explorar. Essa é a magia da ciência ultra-rápida, uma área tão avançada que rendeu não um, mas dois Prémios Nobel da Física nos últimos anos, em 2018 e 2023.

Nesta palestra vamos explorar o fascinante mundo dos lasers ultra-rápidos - o que são, como funcionam e porque são tão importantes. Estes lasers produzem impulsos de luz que duram apenas alguns femtossegundos ( $1 \text{ fs} = 10^{-15}$  segundos, ou 0.000,000,000,000,001 segundos), abrindo caminho para observar os processos fundamentais que regem a interação entre a luz e a matéria - um tema central que atravessa diversas áreas da física e tem impulsionado avanços revolucionários na compreensão do universo, desde o comportamento de partículas subatómicas até à criação de novas tecnologias. Veremos como a invenção de uma técnica para amplificar a luz, por Donna Strickland e Gérard Mourou, revolucionou os lasers de alta potência, com aplicações que vão desde os tratamentos médicos até à micromaquinação de materiais, e por que razão lhes foi atribuído o Nobel de 2018. Avançando agora para 2023, encontramos outro avanço monumental: Anne L'Huillier, Pierre Agostini e Ferenc Krausz foram reconhecidos pela ciência dos attossegundos - mil vezes mais rápida que a dos femtossegundos - que nos permite observar o movimento dos eletrões em tempo real dentro dos próprios átomos e moléculas, limitados apenas pelo princípio da incerteza. Esta descoberta abre portas para novas possibilidades e avanços científicos que há poucos anos seriam apenas imagináveis ou mesmo considerados impossíveis. À medida que continuamos a refinar e desenvolver ferramentas como impulsos laser cada vez mais curtos e técnicas de medição avançadas, a tecnologia ultra-rápida promete ultrapassar novas fronteiras na ciência e na tecnologia, abrindo caminho para inovações que podem transformar radicalmente o nosso futuro.

# COMPUTAÇÃO QUÂNTICA: O QUE É E PARA ONDE VAMOS?

**Sagar Silva Pratapsi**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Técnico, U. Lisboa

<sup>2</sup> Instituto de Telecomunicações

E-mail de contacto: [spratapsi@tecnico.ulisboa.pt](mailto:spratapsi@tecnico.ulisboa.pt)

## RESUMO

O que são os computadores quânticos? Como é que funcionam, e como é que são diferentes dos computadores atuais? Existem computadores quânticos reais? Para que servem, e quais são as suas limitações?

Nesta palestra, darei uma pequena introdução à área da computação quântica, respondendo a estas perguntas. Procurarei dar a minha visão do estado atual, dos problemas em aberto e do futuro da área.

# HIGH PEAK AND AVERAGE POWER NEAR AND MID-IR LASERS VIA ULTRAFAST OPCPA:

## DEVELOPMENTS AND MULTIDISCIPLINAR APPLICATIONS

**H. Pires<sup>1</sup>, G. Vaz<sup>1</sup>, D. Cristino<sup>1</sup>, J. Silveira<sup>1</sup>, H. Gomes<sup>1</sup>, G. Figueira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de plasmas e fusão nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Avenida de Rovisco Pais 1, Lisbon

E-mail de contacto: [hugo.pires@tecnico.ulisboa.pt](mailto:hugo.pires@tecnico.ulisboa.pt)

### RESUMO

In the last decade, as laser technologies have drastically evolved and matured, the generation and amplification of ultrafast laser pulses have also become widespread phenomena, widely used in multidisciplinary applications ranging from fundamental physics to the biomolecular fields.

A new generation of femtosecond technologies is the backbone of the extension to high repetition rates (and high average powers) and to scaling of high peak powers (high energy and short pulse duration)[1]. This approach relies is the use of high (wall plug to light) efficiency diodes to pump Yb based solid state amplifiers acting as drivers for ultrafast Optical Parametric Chirped Pulse Amplifiers (OPCPA). Here, spectral tunability, while preserving large amplification bandwidth for ultrashort pulses, is enabled by careful design and operation of the OPCPA stages, which also provides intrinsic Carrier Envelope Phase (CEP) stability, which is crucial for many applications of few-cycle pulses.

In particular, ultrafast laser system operating in the mid-Infrared (mid-IR) spectral region are of great importance due to the high efficiency to interact with atmospheric and biological molecules, and due to the ability to enter strong field interaction regimes while suppressing multi-photon ionization [2]. Due to the lack of suitable solid-state lasing materials for direct operation in the mid-IR, OPCPA based lasers are the undisputed approach towards few-cycle mid-IR laser systems.

In this plenary talk we will discuss these recent developments and future prospects for ultrafast laser science and highlight some of the multidisciplinary applications that can be driven with these laser systems[3,4].

[1] H. Fattahi et al, "Third-generation femtosecond technology," *Optica* 1, 45-63 (2014).

[2] Pires, H. et al "Ultrashort pulse generation in the mid-IR" *Progress in Quantum Electronics*, 43, 2015,

[3] Pires, H. et al "Ultrabroadband OPA in YCOB with a sub-ps Pump Source" *Photonics* 2023, 10, 253

[4] Alves, J. et al, "Multi-mJ Scaling of 5-Optical Cycle, 3  $\mu$ m OPCPA". *Photonics* 2021, 8, 503.



# REFRIGERAÇÃO MAGNÉTICA: DA CINÉTICA DAS TRANSIÇÕES DE FASE AO EFEITO MAGNETOCALÓRICO ROTATIVO

**A. Beleza<sup>1</sup>, R. Almeida<sup>1</sup>, D. J. Silva<sup>1</sup>, J. O. Ventura<sup>1</sup>, J. E. Araújo<sup>1</sup>, B. Beckmann<sup>2</sup>, A. M. dos Santos<sup>3</sup>, M. D. Frontzek<sup>3</sup>, E. Lovell<sup>4</sup>, O. Gutfleisch<sup>2</sup>, K. Skokov<sup>2</sup>, AM. M. Abeykoon<sup>5</sup>, R. Kiefe<sup>6</sup>, J. Amaral<sup>6</sup>, J. H. Belo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> IFIMUP, Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal, [jbelo@fc.up.pt](mailto:jbelo@fc.up.pt)

<sup>2</sup> Institute of Material Science, Technical University of Darmstadt, 64287 Darmstadt, Germany

<sup>3</sup> Neutron Scattering Division, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831-6475, USA

<sup>4</sup> Camfridge Ltd., Cambridge CB22 3GN, UK

<sup>5</sup> National Synchrotron Light Source II, Brookhaven National Laboratory Upton, NY 11973, USA

<sup>6</sup> Department of Physics and CICECO, University of Aveiro, Campus of Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal

E-mail de contacto: [jbelo@fc.up.pt](mailto:jbelo@fc.up.pt)

## RESUMO

A revolução das tecnologias de refrigeração pode desempenhar um papel decisivo no contexto da transição energética em que vivemos actualmente. As tecnologias de refrigeração (HVAC) são responsáveis por aproximadamente 25 % do consumo eléctrico mundial e por 8% do total das emissões de gases com efeito de estufa [1].

A refrigeração magnética é uma das principais alternativas à tecnologia de expansão e compressão de gases, devido ao seu potencial de maior eficiência energética e à ausência de gases prejudiciais ao ambiente ou à saúde humana. Contudo, para que esta tecnologia seja uma alternativa viável comercialmente é ainda necessário ultrapassar alguns desafios, sendo os mais relevantes: i) aumento da sua eficiência (por exemplo através do aumento da frequência de operação), ii) diminuição da intensidade de campo magnético necessário.

Nesta apresentação vamos abordar o trabalho de investigação fundamental na cinética das transições de fase de materiais magnéticos, que originam o efeito magnetocalórico, que por sua vez é o mecanismo físico fundamental para a refrigeração magnética. Como os materiais magnéticos com maior efeito magnetocalórico apresentam um acoplamento magnetovolumico forte,

vamos explorar com particular atenção as diferenças entre as cinéticas das transições magnéticas e estruturais ao longo de um ciclo magnético completo (aplicação e remoção de campo) [2]. Por fim vamos abordar as limitações que a cinética destas transições impõem à frequência de operação (e eficiência) dos dispositivos de refrigeração magnética [3].

Na segunda parte desta apresentação vamos apresentar um novo efeito descoberto pelo nosso grupo: o efeito magnetocalórico rotativo (RMCE) em amostras policristalinas com forma anisotrópica. Tirando proveito dos diferentes factores desmagnetizantes que uma amostra magnética anisotrópica apresenta, conseguimos induzir uma variação de temperatura na amostra ( $\Delta T_{ad}$ ) através da rotação de um campo magnético externo (diferente da típica aplicação e remoção de campo). A caracterização detalhada deste novo efeito (RMCE) demonstrou variações de temperatura adiabática ( $\Delta T_{ad}$ ) comparáveis ao efeito convencional. Curiosamente, a  $\Delta T_{ad}$  apresenta uma variação assintótica do seu valor de pico com a intensidade de campo magnético, saturando para intensidades de campo baixas (0.6 T) [4]. A possibilidade de gerar  $\Delta T_{ad}$  com campos magnéticos menos intensos aliada ao menor consumo de energia expectável num refrigerador baseado no RMCE motivam-nos para o desenvolvimento de refrigeradores magnéticos mais eficientes e de menor custo de produção.

Assim nesta apresentação pretendemos mostrar como o estudo da física fundamental das transições de fase e do magnetismo pode ajudar à concretização da primeira grande revolução da indústria de refrigeração desde o século XIX.

[1] International Institute of Refrigeration, "38th Note: The Role of Refrigeration in the Global Economy" (2019);

[2] A. Beleza, *et al.*, J. H. Belo, "Structural dynamics of first-order phase transition in giant magnetocaloric La(Fe,Si)13: The free energy landscape", *Materials Today Physics*, 42, 101388, (2024);

[3] R. Costa, *et al.*, J. H. Belo, "Landau theory-based relaxational modeling of first-order magnetic transition dynamics in magnetocaloric materials", *J. Phys. D: Appl. Phys.* 56, 155001 (2023);

[4] R. Almeida, *et al.*, J. H. Belo, D. J. Silva, "Rotating magnetocaloric effect in polycrystals—harnessing the demagnetizing effect", *J. Phys. Energy* 6, 015020, (2024);

# INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM FÍSICA MÉDICA: ENDOSCOPIA E A GESTÃO DO CANCRO GÁSTRICO

**Miguel Coimbra**

INESC TEC, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

E-mail de contacto: [mcoimbra@fc.up.pt](mailto:mcoimbra@fc.up.pt)

## RESUMO

A Inteligência Artificial (IA) tem revolucionado diversas áreas da ciência e da saúde, sendo hoje, em 2024, uma ferramenta essencial em muitos processos médicos. A capacidade da IA para processar grandes quantidades de dados, identificar padrões complexos e evoluir através de aprendizagem automática torna-a especialmente promissora na análise de imagens médicas. Em Física Médica, a IA é aplicada para melhorar diagnósticos, prever prognósticos e até otimizar tratamentos, sendo utilizada de forma crescente em várias modalidades de imagem, como a ressonância magnética, tomografia e endoscopia. Este avanço permite uma análise mais precisa e rápida, aumentando a eficácia e a personalização dos cuidados de saúde.

No contexto específico do cancro gástrico, a IA tem demonstrado ser uma ferramenta valiosa na endoscopia, onde pode ser usada para a detecção precoce de lesões malignas e para a sua caracterização. Através da IA e da Visão Computacional estão hoje em decurso desenvolvimentos muito promissores para a gestão desta doença, tendo a Física Médica um papel essencial neste processo.

# PÍLDORAS DE FÍSICA: RECURSOS DE INTERCAMBIO Y COMUNICACIÓN ENTRE DOCENTES

**Verónica Tricio Gómez**

Departamento de Física, Universidad de Burgos (España)...

Vocal de la Junta de Gobierno de la División de Enseñanza y Divulgación de la Física (DEDF- RSEF)

E-mail de contacto: [vtricio@ubu.es](mailto:vtricio@ubu.es)

## RESUMO

La obtención de información acorde con la calidad científica y divulgativa así como con el nivel académico al que va dirigida, es una actividad que es necesaria realizar durante la práctica docente. De entre el gran volumen de documentación existente en la actualidad, seleccionar recursos didácticos eficaces, motivadores o novedosos, en muchos casos suele abordarse por el profesorado como una tarea individual que requiere esfuerzo y tiempo, si bien dichos recursos podrían usar muchos más docentes si supieran de su existencia.

Reflexiones como estas motivaron una de las líneas programáticas del Grupo Especializado de Enseñanza de la Física (GEDF-RSEF) desde marzo del año 2014, como fue la de *difusión de información con enlaces de interés* para los socios del grupo.

Esta actividad cristalizó en el año 2015 mediante la creación de una sección de intercambio y comunicación con los socios de dicho Grupo Especializado, con el título de Píldoras de Física (PF) [1], para lo cual se constituyó un grupo de trabajo formada por cuatro miembros de su Junta de Gobierno, y del cual la autora de esta comunicación es coordinadora desde su comienzo. Esta sección se mantiene activa hasta la fecha actual, ahora bajo el paraguas de la División de Enseñanza y Divulgación de la Física (DEDF-RSEF), recientemente constituida.

Se abrió así una nueva vía de comunicación entre los socios de este grupo, mediante el intercambio de ideas, recursos, metodologías docentes, etc. En las PF se ofrecen recursos útiles para la enseñanza de la Física en los niveles de Secundaria y primeros cursos universitarios, remitiendo a enlaces de la web, principalmente.

Las propuestas que se ofrecen cumplen con los requisitos de concreción, facilidad de acceso y utilidad como recurso didáctico. Los recursos que hasta ahora hemos publicado son muy diversa índole: En su conjunto, todas las píldoras de física se pueden consultar en la dirección web de la DEDF.

En la Tabla I ofrece un breve extracto que muestra algunas de las temáticas abordadas en las píldoras, así como el tipo de soporte para su acceso y el número de la entrega publicada, correspondientes al año 2020.



Tabla I. Extracto de temáticas y tipologías de las Píldoras de Física.		
Tema	Tipo	Entrega
<b>óptica</b>	web	Nº52
<b>sociedad</b>	texto	
<b>óptica</b>	vídeo	
<b>mecánica</b>	vídeo	Nº55
<b>temático persona relevante</b>	web	
<b>astrofísica</b>	actividad	
<b>docencia</b>	texto	
<b>física general</b>	web	Nº57
<b>ciencia ciudadana</b>	web	
<b>electromagnetismo</b>	vídeo	
<b>sociedad</b>	web	Nº58
<b>mecánica</b>	vídeo	
<b>medios de comunicación</b>	podcast	

En este congreso *Física 2024*, y en el ámbito del 34º Encuentro Ibérico, mi conferencia tiene por objeto exponer y difundir, los recursos y actividades de las píldoras de física, que venimos realizando desde el grupo de trabajo como canal de comunicación entre docentes. Se presentará una visión general de las PF, que se publican en “dosis” mensuales (excepto en agosto) y en cada entrega el número de ellas son en media tres píldoras. En dicho acto pretendo acceder a algunas píldoras de física a través del enlace web de la DEDF donde están publicadas. Daremos cuenta de la variedad de su tipología y de la temática abordada a lo largo de las más de cien entregas que han tenido lugar hasta la fecha de redacción de esta comunicación.

[1] Verónica Tricio. Presentación de Píldoras de Física. Acceso en <https://rsef.es/images/Fisica/PildorasFisicaGEEFPresene16.pdf>, (2015).

[2] V. Tricio Gómez, A. Blanca Martínez-Barbeito. Píldoras de Física. Comunicación presentada en las XI Jornadas de Enseñanza de la Física. Burgos, 16-18 de septiembre, (2016).

[3] Verónica Tricio Gómez. Actividades de enseñanza de la física en el GEEF: estrategia, organización y resultados. Conferencia impartida 1 de septimber, sessio plenária 6.en Física 2018. Univeridade Beira Interior, Covhilá. Livro de resumos, pag. 33, (2018)

[4] Verónica Tricio Gómez, Ana Blanca Martínez-Barbeito, Chantal Ferrer Roca, Rafael Garcia-Molina. Píldoras de Física: un canal de comunicación entre docentes, Revista Española de Física • 33-1, págs: 30-32, Ed: RSEF, enero-marzo, (2019)

[4] Verónica Tricio Gómez. Web de la DEDF. Píldoras de Física. Recursos y materiales seleccionados y difundidos por la DEDF. Presentación en el Curso on-line. Materiales de enseñanza de Física y/o Química disponibles en Internet. Fecha: 2, diciembre, 2021. Acceso en <https://www.dedfísica-rsef.com/2021/10/21/curso-online-sobre-conocimiento-y-utilizacion-de-materiales-de-fisica-en-la-web/#more-746>, (2021)

# ENERGIA, TRABALHO, LEI DO TRABALHO-ENERGIA, PRIMEIRA LEI - TUDO ISSO (E ISSO TUDO)

## **Manuel Fiolhais**

Departamento de Física e Centro de Física da Universidade de Coimbra,  
3004-516 Coimbra

E-mail de contacto: [tmanuel@uc.pt](mailto:tmanuel@uc.pt)

## **RESUMO**

Revisitam-se duas leis fundamentais da natureza – a segunda lei de Newton e a primeira lei da Termodinâmica –, enfatizando a sua independência, por um lado, e a sua interligação, por outro lado. Depois de abordagem conceptual, onde se sublinha o significado do trabalho em mecânica e em termodinâmica, analisam-se situações concretas que destacam a complementaridade das duas leis [1]. De facto, abordagens, só pelo lado da mecânica, ou apenas pelo lado da termodinâmica, não permitem a análise completa de situações tão comuns como uma simples caminhada [2–4] ou o movimento de um automóvel [5]. Os temas abordados baseiam-se em trabalhos de investigação realizados em colaboração com Julio Güémez, da Universidade de Cantábria, Espanha.

[1] J. Güémez, M. Fiolhais “From mechanics to thermodynamics—analysis of selected examples”, *European Journal of Physics* 34, 345-357 (2013)

[2] M. Fiolhais, “A física na caminhada: forças nos pés e aspetos energéticos”, *Gazeta de Física*, 37 fasc. 3, p. 8 (2014).

[3] J. Güémez, M Fiolhais, “The physics of a walking robot”, *Physics Education*, 48, 455-458 (2013).

[4] J. Güémez, M. Fiolhais, “Thermodynamical asymmetries in whirling, jumping and walking”, *European Journal of Physics*, 35, 035008 (2014).

[5] J. Güémez, M. Fiolhais, “Forces on wheels and fuel consumption in cars”, *European Journal of Physics* 34, 1005-1013 (2013)

# FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA

# MULTIFERROIC COFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/LiNbO<sub>3</sub> BILAYER FILMS

João Oliveira<sup>1,2</sup>, Bruna Silva<sup>1</sup>, Leonard Francis<sup>2</sup>, Bernardo Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LapMET, Center of Physics of Minho and Porto Universities (CF-UM-UP), Department of Physics, Minho University, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

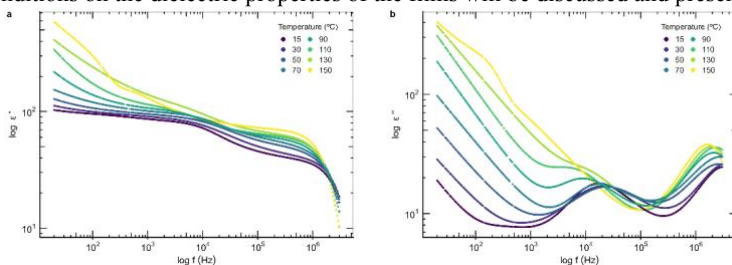
<sup>2</sup> Nanostructured Materials Group, International Iberian Nanotechnology Laboratory (INL), Av. Mestre José Veiga s/n, 4715-330 Braga, Portugal

E-mail de contacto: bernardo@fisica.uminho.pt

## RESUMO

Nanostructured multiferroic thin films constructed by combining magnetostrictive and piezoelectric materials have attracted much scientific and technological. In addition to possessing ferroelectricity and ferromagnetism in each individual phase, they exhibit stress-mediated coupling between their magnetic and electric properties, called the magnetoelectric effect. Nevertheless, the dynamical magnetic-electric properties have been poorly explored in nanoscopic bilayer magnetostrictive-piezoelectric composite systems, and frequency-dependent dynamical studies, such as impedance spectroscopy, are needed. Here, bilayer composite thin films, composed of a LiNbO<sub>3</sub> layer deposited over a CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> film, have been prepared by laser ablation on Nb-doped SrTiO<sub>3</sub> substrates. Their structural, morphological, and dielectric properties were characterized. LiNbO<sub>3</sub> is a ferroelectric material with good piezoelectric and electro-optical properties. CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> presents a high magnetostriction, making it suitable for application in magnetoelectric composite thin films.

The X-ray diffraction measurements performed on the bilayer samples at room temperature show the presence of the rhombohedral ferroelectric structure of LiNbO<sub>3</sub> and the cubic spinel structure of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Their dielectric properties were characterized by impedance spectroscopy. The electrical permittivity was fitted to obtain the relaxation times and activation energies using appropriate models for the behavior of polarization and conductivity. As such, the influence of the synthesis conditions on the dielectric properties of the films will be discussed and presented.



Real and imaginary components of the bilayer dielectric permittivity.



# NEW TRENDS ON INNOVATIONS AND APPLICATIONS IN FLEXIBLE ELECTRONICS

**A. Pires<sup>1</sup>, M. Rocha<sup>1</sup>, M.M. Maia<sup>1</sup>, J. Silva<sup>1</sup> A. R. Sousa<sup>1</sup>, J. Folhadela<sup>1</sup>, M. Almeida<sup>1</sup>, A.M. Pereira<sup>1</sup>**

Afiliação do(s) Autores, Times New Roman 9

<sup>1</sup> IFIMUP—Institute of Physics for Advanced Materials, Nanotechnology and Photonics, Department of Physics and Astronomy of Faculty of Sciences of University of Porto, Rua Campo Alegre, 687, 4169-007Porto, PortugalDepartamento de Física da ...  
E-mail de contacto: ampereira@fc.up.pt

## RESUMO

Flexible electronics represent a transformative advancement in the field of electronic devices, offering unprecedented versatility, durability, and integration capabilities. This research area focuses on the development of electronic components and systems that can bend, stretch, and conform to various surfaces, opening up new possibilities for innovation across multiple industries. In this presentation, we will explore the key technologies, materials, and applications driving the future of flexible electronics.

We begin by discussing

the fabrication techniques essential for producing flexible electronic devices. Methods such as screen printing, and microfabrication production of flexible circuits. We will also highlight various applications of flexible electronics across different sectors, namely at IFIMUP, we have been actively working on various areas within flexible electronics, notably in the development of wearables, defect detection systems for infrastructure, and radiation protection. Our research focuses on creating advanced solutions that leverage the unique properties of flexible materials to address real-world challenges and improve technological integration.

Throughout this presentation, we will discuss the latest advancements and challenges in the field of flexible electronics, including material innovations, fabrication techniques, and application development. We will also explore future trends and potential impacts on various industries, highlighting the ongoing research and development efforts aimed at overcoming current limitations and expanding the possibilities of flexible electronics.

[1] Printed Flexible  $\mu$ -Thermoelectric Device Based on Hybrid Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>/PVA Composites  
AL Pires, IF Cruz, J Silva, GNP Oliveira, S Ferreira-Teixeira, AML Lopes, C. Pereira, A.M. Pereira ACS applied materials & interfaces 11 (9), 8969-8981

[2] A Photo-Thermoelectric Twist to Wireless Energy Transfer: Radial Flexible Thermoelectric Device Powered by a High-Power Laser Beam M Maia, AL Pires, M Rocha, S Ferreira-Teixeira, P Robalinho, O Frazão, ..., A.M. Pereira, *Advanced Materials Technologies* 8 (15), 2202104

[3] Giant magnetostriction in low-concentration magnetorheological elastomers JA Silva, C Gouveia, G Dinis, AM Pinto, AM Pereira *Composites Part B: Engineering* 243, 110125

# LOCAL LASER-INDUCED SURFACE TRANSFORMATION OF Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> INSULATING CERAMIC SURFACES

**H. GOMES, F. M. COSTA, N. M. FERREIRA**

i3n, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

E-mail de contacto: [henriquebpgomes13@ua.pt](mailto:henriquebpgomes13@ua.pt)

## RESUMO

Ceramics possess high temperature resistance and are chemically inert. As such, they exhibit properties that are very interesting for developing sensors capable of being used in more aggressive and high-temperature environments, namely as temperature, humidity and water level sensors.

However, most ceramic materials are insulators, and so, it is necessary to induce modifications on their surfaces to make them electrically conductive. This modification can be performed by laser irradiation, as already demonstrated [1]. This is possible, due to the laser technology's ability to deliver high quantities of energy in a focused, precise and local mode. By choosing the appropriate laser parameters, it is possible to induce transformations in ceramic oxide surfaces that are almost impossible to achieve with other technologies, making it ideal for several interesting applications.

In this work, the viability of using laser technology to promote electrically conductive pathways, on the surfaces of insulating ceramic oxide materials was studied. For that, a continuous CO<sub>2</sub> laser ( $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ ) was used to irradiate the surface of sintered ceramic samples of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, resulting in a conductive non-stoichiometric Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> phase along the laser pathways. The effect of the laser power and the sample speed on the morphological and electrical characteristics of the created pathways was studied. Through optimization of the laser parameters, it was possible to obtain a maximum pathway width of  $267 \pm 7 \mu\text{m}$  and depth of  $287 \pm 7 \mu\text{m}$ , as well as a maximum electrical conductivity of  $18.3 \pm 0.4 \text{ S/m}$ , an increase of eight orders of magnitude when compared with the conductivity of the ceramic precursor [2]. This study allows further exploration of the application of laser technology to promote localized electrical pathways on insulator oxide surfaces, useful to create ceramic sensors.

[1] H. Gomes, F. M. Costa, and N. M. Ferreira, *Surf. and Interf.*, vol. 36, p. 102562 (2023)

[2] S. A. Makhlof, Z. H. Bakr, K. I. Aly, and M. S. Moustafa, *Superlattices Microstruct.*, vol. 64, pp. 107–117 (2013)

# MUONIUM REACTION IN MGO: A CASE STUDY FOR THE DOORWAY MODEL

**R C Vilão<sup>1</sup>, A Roonkiani<sup>1</sup>, A G Marinopoulos<sup>1</sup>, H V Alberto<sup>1</sup>, J M Gil<sup>1</sup>, R B L Vieira<sup>2</sup>, R Scheuermann<sup>3</sup>, A Weidinger<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> University of Coimbra, CFisUC, Department of Physics, P-3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> CICECO - Aveiro Institute of Materials, Department of Chemistry, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> Laboratory for Muon-Spin Spectroscopy, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Switzerland

<sup>4</sup> Department Spins in Energy Materials and Quantum Information Science (ASPIN), Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, 14109 Berlin, Germany

E-mail de contacto: [ruivilao@uc.pt](mailto:ruivilao@uc.pt)

## RESUMO

The slowing down of implanted particles in solids is usually divided into three steps: deceleration by ionization, cyclic charge exchange, and finally thermalization. Whereas the first two processes are well understood, very little is known about the final stopping of the particle and its embedding in the lattice [1,2]. The muon spin rotation ( $\mu$ SR) method allows real-time observation of this final embedding process. We present here a study of muon implantation in magnesium oxide (MgO) by combination of  $\mu$ SR measurements and first-principles calculations. The data are well described by the so-called doorway model. The basic assumption of this model is that the muon is stopped at the end of the implantation path by a strong inelastic process leading to the formation of an intermediate configuration, the doorway state. In MgO, this state is characterized by a widespread distribution of the electron density around the muon with a hyperfine interaction on the order of a few hundred meV. The decay of the doorway state leads either to atomic muonium at an interstitial site or to an oxygen-bound configuration.

[1] RC Vilão, AG Marinopoulos, HV Alberto, JM Gil, JS Lord, A Weidinger, Physical Review B 103, 125202 (2021)

[2] RC Vilão, HV Alberto, RBL Vieira, JM Gil, A Weidinger, Physical Review B 101, 077202 (2020)



# INVESTIGATING TEMPERATURE DEPENDENT CHANGES IN OCTUPOLAR MOLECULES: CONFORMATION, AROMATICITY, AND HYPERPOLARIZABILITY

**Pedro S. Pereira Silva<sup>1</sup>, Mauro A. Pereira Gonçalves<sup>2</sup>, Nuno M. F. Campos<sup>1</sup>, José A. Paixão<sup>1</sup>, Manuela Ramos Silva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, P-3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Institute of Physics, Czech Academy of Sciences, Na Slovance 2, 182 00 Praha 8, Czech Republic

E-mail de contacto: [psidonio@fis.uc.pt](mailto:psidonio@fis.uc.pt)

## RESUMO

This study explores the relationship between molecular conformation, aromaticity, and hyperpolarizability in octupolar molecules under varying temperature conditions. Octupolar molecules, characterized by their unique charge distributions and potential applications in non-linear optics [1], present a rich field of study due to their complex electronic structures and sensitivity to environmental factors such as temperature or crystal field effects. Using a combination of *ab-initio* quantum mechanical calculations and low-temperature X-ray diffraction techniques, we examined the temperature-dependent behaviour of neutral and charged octupolar molecules, in the solid state. Aromaticity was accessed directly by measuring bond equalization, through the HOMA index [2] or indirectly through a theoretical indicator, called the nucleus independent chemical shift (NICS) [3]. Molecular hyperpolarizability, a key parameter for non-linear optical applications [4], is expected to increase at low temperatures and will be monitored making use of the high-resolution diffraction data and multipolar refinements [5]. The findings of this study will be presented and discussed.

[1] C. M. Ashcroft, J. M. Cole, Handbook of Organic Materials for Electronic and Photonic Devices, 139-176, Woodhead (2019).

[2] Z. Królikowski, T. M. Krygowski, Tetrahedron Letters, 37(37), 7123-7126 (1996).

[3] P. Schleyer, C. Maerker, A. Dransfeld, H. Jiao, N. Hommes, Journal of the American Chemical Society, 118(26), 6317-6318 (1996).

[4] D.S. Chemla and J. Zyss, Nonlinear Optical Properties of Organic Molecules and Crystals, Academic Press (1987).

[5] F. Robinson, Bell Syst. Tech. J. 46, 913-956 (1967).

# NEXT GENERATION OF 2D VAN DER WAALS MAGNETS FOR SPINTRONICS APPLICATIONS

**J. Oliveira da Silva<sup>1</sup> , F. Nogueira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics University of Coimbra, Rua Larga, Coimbra, 3004-516, Portugal.

E-mail de contacto: [jaimesilva@fis.uc.pt](mailto:jaimesilva@fis.uc.pt)

## RESUMO

The precise manipulation of a material's magnetisation, known as 'spin manipulation,' is crucial for spintronics applications. A promising avenue of research in this field is spin manipulation using an electric field. This approach is particularly appealing as it not only reduces the device's power consumption by eliminating the need for a direct current but also enables the manipulation of single spins, a key requirement for spin-based quantum information processing. Additionally, using electric rather than magnetic control is advantageous, as electric fields can be easily generated locally on-chip.

The emergence of 2D van der Waals magnets has opened up new possibilities for the electric control of magnetic order, potentially revolutionising the fields of spintronics and quantum information processing. These materials, with their unique properties, offer a promising path towards the next generation of electronic devices.

Density functional theory (DFT), a computational method used to understand the electronic structure of matter, provides a way to discover and predict the behaviour of 2D van der Waals magnets when an electric field is applied. This computationally guided discovery is essential for directing experimentalists to the most promising materials.

This work demonstrates not only the theoretical possibility but also the practical feasibility of reversing the surface magnetisation of a graphene sheet partially covered by hydrogen by applying an external electric field. We study a prototypical material where this effect occurs: a 2D layered material composed of a Ni(111) substrate, an hBN monolayer, and a graphone sheet. We also provide a detailed description of the primary mechanism for the inversion of surface magnetisation. Based on the calculated formation energy and theoretical and experimental results from other researchers, we foresee that synthesising our new 2D magnetoelectric nanostructure is experimentally feasible.

[1] Chiba D, Yamanouchi M, Matsukura F and Ohno H, *Science*, 301, 943 (2003)

[2] Tsymbal E Y, *Nature Materials*, 11, 12 (2012)

[3] Wu Q, Zhang Y, Cui Z, Liu P, Xiang B, Li Z, Fu Z and Lu Y, *Advanced Functional Materials*, 33, 2214007 (2023)

# STRAIN-DEPENDENT MAGNETIC AND DIELECTRIC PROPERTIES OF $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ THIN FILMS

**B. Silva<sup>1</sup>, J. Oliveira<sup>1</sup>, A. Silva<sup>1</sup>, V. Lenzi<sup>2</sup> P. Rodrigues<sup>3</sup>, N. Lekshmi<sup>3</sup>, L. S. Marques<sup>1</sup>, A. M. L. Lopes<sup>3</sup>, J. P. Araújo<sup>3</sup>, B. G. Almeida<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Center of Physics of the Universities of Minho and Porto, LAPMET, Departamento de Física, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

<sup>2</sup> CICECO – Aveiro Institute of Materials, Department of Chemistry, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> Institute of Nanoscience and Nanotechnology and Photonics, LAPMET, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto, Portugal.

E-mail de contacto: brunasilva@fisica.uminho.pt

## RESUMO

Naturally layered perovskite structures exhibiting improper ferroelectricity, such as the Ruddlesden-Popper calcium manganite compound  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$ , offer a promising pathway to cost-effective, high-performance room-temperature multiferroic magnetoelectricity. These structures enable the research of nonpolar rotations of oxygen octahedra and cation site displacements to achieve non-centrosymmetry. Their sensitivity to lattice distortions enables modulation of acentricity through the production of thin films on crystalline substrates, enabling precise control over lattice, electric, and magnetic interactions [1]. Here, thin films of  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$  with varying thicknesses (~30-350 nm) were produced using pulsed laser deposition on  $\text{SrTiO}_3$  substrates, followed by characterization of their dielectric and magnetic properties [2]. The films exhibited the  $A2_{1am}$  ferroelectric phase alongside the orthorhombic  $A_{caa}$  phase. X-ray diffraction analysis revealed stronger strain in thinner films, which gradually relaxed with increasing thickness. Magnetic studies showed an antiferromagnetic (AFM) transition between 90 and 110 K, while dielectric measurements displayed dispersion patterns described by the Havriliak-Negami (HN) model. Temperature-dependent HN fits to the dielectric response indicated AFM transitions within the range of 85 to 112 K. The results showed that the AFM transition temperature was lower for more strained films and increased as the strain decreased. For the thicker, less strained film, an AFM transition at 110-112 K was observed, consistent with the bulk  $\text{Ca}_3\text{Mn}_2\text{O}_7$  characteristic temperature. The correlation between magnetic and dielectric properties indicates the presence of magnetoelectric interactions and magnetically induced enhancement of dipolar correlations in the films.

[1] P. Ghosez and J. M. Triscone, *Nat. Mater.* 10, 269 (2011).

[2] B. M. Silva, A. M. L. Lopes, J. P. Araújo, B. G. Almeida et al., *Mater. Res. Bull.* 158, (2023).

# SYNTHESIS OF 2D $Ti_3C_2T_x$ MXENES FOR NEUROMORPHIC RESISTIVE SWITCHING DEVICES

**H. Teixeira<sup>1</sup>, C. Dias<sup>1</sup>, J. Ventura<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> IFIMUP, Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal, corresponding author (research@jacteixeira.com)

E-mail de contacto: [research@jacteixeira.com](mailto:research@jacteixeira.com)

## RESUMO

Taking inspiration from the human brain, where memory and learning cohabit the same space, together with an abysmally lower power consumption than the fastest computers today, a neuromorphic computing architecture has emerged called memristive switching. These new devices are generally composed of a simple metal-insulator-metal stacks, that respond to voltage bias with a hysteresis-shaped current. The mechanism behind their behaviour resembles neuronal dynamics by exchanging ions, like in synapses, having demonstrated crucial learning behaviours of the brain (Zhu 2020). On the other hand, the integration of low-dimensional materials, memristors was shown to enhance the properties of memory and neuromorphic applications (Sun 2021).

A new family of 2D materials was discovered in 2011, called MXenes, where M represents an early transition metal element and X is either carbon and/or nitrogen, which depending on the etching route can have various surface terminations. These materials show high chemical stability due to their hydrophilic surface and optical transport properties due to higher density of states at Fermi level, with the biggest advantage being the tuning of MXene properties by modification of their surface terminations.

In this work, 2D flakes of  $Ti_3C_2$  MXene were chemical exfoliated from  $Ti_3AlC_2$  precursor through an in-situ HF formation method, and then integrated as an heterostructure of  $Al_2O_3$ /resistive switching stack with bottom PET/ITO flexible substrate and top W electrodes. Successful delamination of MXene flakes was confirmed through XRD, SEM, and TEM, achieving a dispersion-ready solution for spin-coating. The electrical properties of the fabricated stack were measured under various current stimulus, showing remarkably reliable resistive switching behaviour with high resistance ratio ( $10^4$ - $10^5$ ), while at the same time being capable of multi-level resistive states with remarkable endurance.

[1] Zhu, J. et al, Appl Phys Rev 7, 011312 (2020)

[2] Y. Gong, X. et al, Small Sci1 (2021) 2100006..

# STUDY OF $\alpha$ -Ge(111) MONOLAYER FOR PHOTOCATALYTIC HYDROGEN GENERATION VIA AB INITIO CALCULATIONS

\*Vinícius G. Garcia<sup>1</sup>, Guilherme J. Inacio<sup>1</sup>, Luciano F. Filho<sup>1</sup>, Luíza T. Pacheco<sup>1</sup>, Fernando N. N. Pansini<sup>1</sup>, Marcos G. Menezes<sup>2</sup>, Wendel S. Paz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, 29075-910, Vitória, Brazil*

<sup>2</sup>*Institute of Physics, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ 21941-972, Brazil*

viniciusgarcia1@hotmail.com

Germanium is abundant and has low toxicity, making it an attractive alternative to other materials currently used for hydrogen storage [1]. In this research, an unpassivated surface was used, assuming that a clean surface would result from the exfoliation process, as reported in Ref. [2]. The optoelectronic and photocatalytic characteristics of the  $\alpha$ -Ge(111) monolayer for hydrogen and oxygen evolution reactions were examined. Using first-principles calculations, a direct band gap of 1.48 eV and 1.46 eV was determined for the monolayer under HSE06 and GW approximations, respectively. This band gap widens when the monolayer is segmented into flakes due to quantum confinement effects. Optical analysis shows absorption peaks in the visible and ultraviolet ranges, with an absorption edge ranging from 1.47 eV to 1.87 eV, depending on the inclusion of excitonic effects. The alignment of band edges with water redox potentials confirms the monolayer's potential for water-splitting applications. By integrating Bethe-Salpeter Equation (BSE) calculations [3] into the determination of the optical gap, the  $\alpha$ -Ge monolayer is projected to have a solar-to-hydrogen efficiency of 37.35% [4], making it a highly competitive photocatalytic system for sustainable hydrogen production via water splitting.

## References

- [1] Y. Li, Y.-L. Li, B. Sa, R. Ahuja, Review of two-dimensional materials for photocatalytic water splitting from a theoretical perspective, *Catalysis Science & Technology* 7 (3) (2017) 545–559.
- [2] C. Gibaja, D. Rodríguez-San-Miguel, W. S. Paz, I. Torres, E. Salagre, P. Segovia, E. G. Michel, M. Assebban, P. Ares, D. Hernández-Maldonado, et al., Exfoliation of alpha-germanium: A covalent diamond-like structure, *Advanced Materials* 33 (10) (2021) 2006826.
- [3] M. Rohlfing, S. G. Louie, Electron-hole excitations and optical spectra from first principles, *Physical Review B* 62 (8) (2000) 4927.
- [4] X. Gao, Y. Shen, J. Liu, L. Lv, M. Zhou, Z. Zhou, Y. P. Feng, L. Shen, Boosting the photon absorption, exciton dissociation, and photocatalytic hydrogen-and oxygen-evolution reactions by built-in electric fields in janus platinum dichalcogenides, *Journal of Materials Chemistry C* 9 (42) (2021) 15026–15033.

# Unusual Magnetic Transformations Induced by Mn Doping in Sr- substituted BiFeO<sub>3</sub>

**M. Das<sup>1</sup>, J.A. Paixão<sup>1</sup>, and V.A. Khomchenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, P-3004-516, Coimbra, Portugal

Email: mithila.physics@gmail.com

We report on the crystal structure and room- and low- temperature magnetic behaviour of the Bi<sub>0.85</sub>Sr<sub>0.15</sub>Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> (0.1 ≤ x ≤ 0.5) ferromanganites [1]. Up to x = 0.35, the materials maintain the single-phase polar *R3c* structure of pure bismuth ferrite. A further increase in Mn content stabilizes the antipolar *Pnam* phase. It has been shown that the combined Sr/Mn substitution tends to suppress the cycloidal antiferromagnetic arrangement specific to the parent BiFeO<sub>3</sub> in favour of a canted antiferromagnetic structure, which is not typical of BiFe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> [2] or Bi<sub>0.85</sub>Ca<sub>0.15</sub>Fe<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>O<sub>3</sub> [3] multiferroics near their polar/antipolar phase boundary (at room temperature). A complex magnetic behaviour with irregular changes in remnant magnetization and coercive field suggesting the temperature decrease-driven modification of the canted antiferromagnetic structure near the polar/antipolar boundary has also been found. The obtained results shed new light on the conditions favoring the coexistence of spontaneous magnetization and electric polarization in BiFeO<sub>3</sub>-based multiferroics.

This work was financed through national funds by FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P. in the framework of the projects UIDB/04564/2020 and UIDP/04564/2020, with DOI identifiers 10.54499/UIDB/04564/2020 and 10.54499/UIDP/04564/2020, respectively. Access to TAIL-UC facility funded under QREN-Mais Centro project ICT\_2009\_02\_012\_1890 is gratefully acknowledged.

## References

- [1] V.A. Khomchenko, M. Das, M.S.C. Henriques, J.A. Paixão, *J. Magn. Mater.* **585** 171142 (2023).
- [2] A.A. Belik, A.M. Abakumov, A.A. Tsirlin, J. Hadermann, J. Kim, G. Van Tendeloo, E. Takayama-Muromachi, *Chem. Mater.* **23** 4505 (2011).
- [3] V.A. Khomchenko, M. Das, J.A. Paixão, M.V. Silibin, D.V. Karpinsky, *J. Alloys Compd.* **901** 163682 (2022).

# UNLOCKING ELECTRONIC AND TOPOLOGICAL FEATURES OF $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ CRYSTALS THROUGH ALUMINIUM DOPING: PROSPECTS FOR QUANTUM COMPUTING APPLICATIONS

\*Luíza Tiemi<sup>1</sup>, G. J. Inacio<sup>1</sup>, Celovani, M. B.<sup>1</sup>, Cunha, A. G.<sup>1</sup>, E. Lee<sup>2</sup>, Wendel S. Paz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, 29075-910, Vitória, ES, Brazil*

<sup>2</sup>*Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Física de la Materia Condensada, Instituto Nicolas Cabrera (INC), Condensed Matter Physics Institute (IFIMAC-UAM), Cantoblanco, 28049 Madrid, Spain*

luizaokumapacheco@hotmail.com

Topological insulators (TIs) represent a new class of quantum materials characterized by an insulating bulk with topologically protected edge states (2D) or surface states (3D) [1]. Due to their proximity to various magnets and superconductors, topological insulators exhibit novel physics at the interfaces, leading to the emergence of two new domains known as topological spintronics and topological quantum computation [2]. The presence of topological surface states may give rise to anomalous magneto-transport properties [3]. Also, due to the unique spin-momentum lacking properties, the topologically protected surface states are spin-polarized with helical spin textures, which are distinct from trivial surface states. Among the most widely studied TIs,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  (bismuth selenide) stands out as a crystalline topological insulator with a bandgap of 0.3 eV and a single Dirac cone at the  $\Gamma$  point [4, 5, 6]. Theoretical and experimental studies show its remarkable topological properties due to its strong spin-orbit coupling (SOC), including (opto)electronics, and others, simultaneously with its robustness in environmental conditions, have attracted significant attention. Despite being a great candidate for application in electronic and spintronic devices,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  naturally has selenium vacancies, that act as n-type dopants [7]. These defects shift the Fermi level into the conduction band (CB), functioning as a kind of 'doping' intrinsic to the system - as already shown in the literature [8]. In order to suppress such native defects by doping of the system, we investigated the effects of the substitution of Bi by Al and we check whether it will occur the downshift of the Fermi level to the topological gap region, reducing the impact of n-type doping caused by the large concentration of selenium vacancies, making it even more attractive for future applications.

## References

- [1] M. Z. Hasan, C. L. Kane, Rev. Mod. Phys. 82 (2010) 3045–3067. doi:10.1103/RevModPhys.82.3045, [link].  
URL <https://link.aps.org/doi/10.1103/RevModPhys.82.3045>
- [2] M. He, H. Sun, Q. L. He, Frontiers of Physics 14 (4) (2019). doi:10.1007/s11467-019-0893-4, [link].  
URL <http://dx.doi.org/10.1007/s11467-019-0893-4>

- [3] D. Hsieh, Y. Xia, D. Qian, L. Wray, J. H. Dil, F. Meier, J. Osterwalder, L. Patthey, J. G. Checkelsky, N. P. Ong, A. V. Fedorov, H. Lin, A. Bansil, D. Grauer, Y. S. Hor, R. J. Cava, M. Z. Hasan, *Nature* 460 (7259) (2009) 1101–1105. [doi:10.1038/nature08234](https://doi.org/10.1038/nature08234), [\[link\]](#).  
URL <http://dx.doi.org/10.1038/nature08234>
- [4] H. Zhang, C.-X. Liu, X.-L. Qi, X. Dai, Z. Fang, S.-C. Zhang, *Nature Physics* 5 (6) (2009) 438–442. [doi:10.1038/nphys1270](https://doi.org/10.1038/nphys1270), [\[link\]](#).  
URL <http://dx.doi.org/10.1038/nphys1270>
- [5] W. Zhang, R. Yu, H.-J. Zhang, X. Dai, Z. Fang, *New Journal of Physics* 12 (6) (2010) 065013. [doi:10.1088/1367-2630/12/6/065013](https://doi.org/10.1088/1367-2630/12/6/065013), [\[link\]](#).  
URL <https://dx.doi.org/10.1088/1367-2630/12/6/065013>
- [6] Y. Xia, D. Qian, D. Hsieh, L. Wray, A. Pal, H. Lin, A. Bansil, D. Grauer, Y. Hor, R. Cava, M. Hasan, *Nature Physics* 5 (6) (2009) 398–402. [doi:10.1038/nphys1274](https://doi.org/10.1038/nphys1274).
- [7] A. Ptok, K. J. Kapcia, A. Ciechan, *Journal of Physics: Condensed Matter* 33 (6) (2020) 065501. [doi:10.1088/1361-648x/abba6a](https://doi.org/10.1088/1361-648x/abba6a), [\[link\]](#).  
URL <http://dx.doi.org/10.1088/1361-648x/abba6a>
- [8] J. Moon, N. Koirala, M. Salehi, W. Zhang, W. Wu, S. Oh, *Nano Letters* 18 (2) (2018) 820–826. [doi:10.1021/acs.nanolett.7b04033](https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b04033), [\[link\]](#).  
URL <http://dx.doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b04033>



# MÖSSBAUER SPECTROMETRY, POSITRON ANNIHILATION SPECTROSCOPY AND MAGNETIC STUDIES ON $\text{La}_{1-2x}\text{Ba}_x\text{Bi}_x\text{FeO}_3$ PEROVSKITES

**E.M. Benali<sup>1,2</sup>, A. Benali<sup>1,2</sup>, M. Bejar<sup>2</sup>, E. Dhahri<sup>2</sup>, P.M. Gordo<sup>1</sup>, B.F.O. Costa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Coimbra CFisUC, Physics Department, Rua Larga, 3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup>Laboratoire de Physique Appliquée, Faculté des Sciences, Université de Sfax, B.P. 1171, 3000 Sfax, Tunisia

E-mail de contacto: pgordo@uc.pt

## RESUMO

We have studied the structural, Mössbauer spectrometry, PAS and magnetic properties of the  $\text{La}_{1-2x}\text{Ba}_x\text{Bi}_x\text{FeO}_3$  ( $x=0.0, 0.05, 0.1, 0.15$  and  $0.20$ ) perovskites prepared by the auto-combustion method.

All compounds crystallized in an orthorhombic structure (Pnma space group) and have nanosized particles as observed by transmission electron microscopy. For the  $x = 0.15$  and  $0.20$  samples there is a small amount of  $\text{Bi}_2\text{O}_{2.7}$  and  $\text{BaFeLaO}_4$  secondary phases.

The non-doped  $\text{LaFeO}_3$  compound presents an antiferromagnetic (AFM) behaviour. The substitution of  $\text{La}^{3+}$  ions by  $\text{Ba}^{2+}$  and  $\text{Bi}^{3+}$  in the  $\text{LaFeO}_3$  system induces ferromagnetic (FM) interactions. The magnetic behaviour is correlated to the particle size and the amount of a secondary phase.

$^{57}\text{Fe}$  Mössbauer spectrometry at room temperature shows three ferric sextets and a doublet of about 1% of the spectral area, tentatively assigned to Fe(IV). At 4.2 K the spectra consist of three ferric sextets plus a sextet assigned to Fe(V). Thus, there is an indication of a charge disproportionation according to  $2\text{Fe}^{4+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{5+}$ . We present a study on the aspects of this transition using Mössbauer spectroscopy. The characterization of structural defects presents in the different samples are determined by PAS measurements.

# INFLUENCE OF SR DOPING ON STRUCTURAL, MAGNETIC AND OPTICAL PROPERTIES OF M- TYPE BARIUM HEXAGONAL FERRITES

**B.F.O. Costa<sup>1</sup>, A. Benali<sup>1,2</sup>, B.J.C. Vieira<sup>3</sup>, J.C. Waerenborgh<sup>3</sup>, J. Pina<sup>4</sup>,  
Y. Marouani<sup>1,2</sup>, E. Dhahri<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>University of Coimbra, CFisUC, Physics Department, Rua Larga, 3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup>Laboratoire de Physique Appliquée, Faculté des Sciences de Sfax, B.P. 1171, 3000 Sfax, Université de Sfax, Tunisia

<sup>3</sup>Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, DECN, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2695-066 Bobadela, LRS, Portugal

<sup>4</sup>University of Coimbra, CQC-IMS, Department of Chemistry, Rua Larga, 3004-535 Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: benilde@uc.pt

## RESUMO

Recently, M-type hexagonal ferrites, i.e.,  $MFe_{12}O_{19}$  ( $M=Ba, Sr$  and  $Pb$ ), have been widely investigated for their relatively large magnetization, high performance permanent magnetism and high Curie temperature [1].

In this work, M-type  $Ba_{1-x}Sr_xFe_{12}O_{19}$  nanoparticles with  $x=0, 0.5$  and  $1$  were synthesized by the autocombustion method.

X-ray powder diffraction results indicated the predominant formation of the  $BaFe_{12}O_{19}$  M-type hexaferrite phase belonging to the space group #194 ( $P6_3/mmc$ ), together with a small percentage of a spurious phase of  $Fe_2O_3$ .

Room temperature Mössbauer spectroscopy, magnetic and optical analysis were performed.

The distribution of Sr in different non-equivalent oxygen coordination (octahedral, tetrahedral and bipyramidal positions) is not statistical.

Saturation magnetization values increase as a result of Sr -substitution from  $x=0$  to  $x=1.0$ . The ferromagnetic contribution is the most intense one. The prepared hexaferrites were found to be hard magnetic materials.

[1] F.N. Tenorio-González, A.M. Bolarín-Miró, F. Sánchez-De Jesús, P. Vera-Serna, N. Menéndez-González, and J. Sánchez-Marcos. *J. Alloys Compd.* 695, 2083 (2017)

# MAGNETIC ORDERING IN THE $\text{Cu}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x)_2\text{Ge}_2$ SYSTEM

Phinifolo L.S. Cambalame <sup>1,2</sup>, José António Paixão<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CFisUC, Centre for Physics of the University of Coimbra, 3004-516, Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Eduardo Mondlane University, Av. Julius Nyerere, nr. 3453, Maputo, Mozambique

Contact e-mail: [phinifolo@fis.uc.pt](mailto:phinifolo@fis.uc.pt)

## ABSTRACT

$\text{CuFe}_2\text{Ge}_2$  is an intermetallic compound crystallizing in the orthorhombic system (space group 51,  $Pmma$ ). Its crystal structure features sawtooth chains of Fe that lie within the  $ac$  plane. This compound has a complex magnetic behaviour, with a small ferromagnetic component appearing at  $T_C = 228$  K, antiferromagnetic ordering developing at  $T_N \sim 175$  K and an incommensurate spin-density wave (disclosed by neutron-scattering measurements) at  $\sim 125$  K [1]. However, a recent Mossbauer spectroscopy study suggests that half of the Fe atoms behave paramagnetically in a large temperature scale (from 4.4 K to 296 K) while only the other half being magnetically ordered [2].

The possibility of near degeneracy of multiple magnetic orderings in these materials resembles that of iron-based superconductors [3]. Substitution studies are thus a perfect playground relevant to better understanding the magnetic ground states but also the mechanisms of unconventional superconductivity.

We have succeeded in preparing single-phase samples of  $\text{Cu}(\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x)_2\text{Ge}_2$  by solid state synthesis up to 50% substitution of Fe by Ni. Preliminary studies of the evolution of magnetism, from low to half substituted samples, indicate a lowering of  $T_c$  as the Ni content increases. In the low temperature region distinct anomalies in the thermomagnetic curves show that the system is driven to the ground state through successive transitions of antiferromagnetic/ferrimagnetic character (Fig. 1).

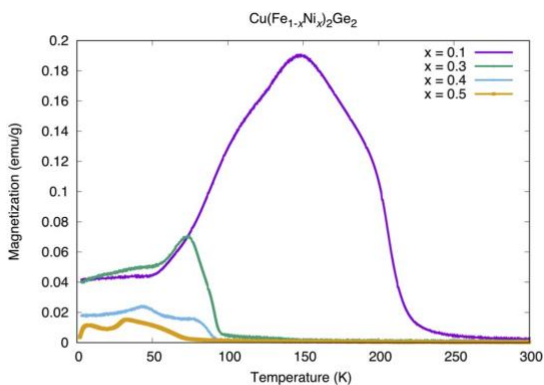


Fig 1 – ZFC thermomagnetic curves ( $H = 100$  Oe) of  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Ge}_2$  ( $x = 0.2; 0.3; 0.5$ ).

The preferential substitution of Fe by Ni, creating more than one magnetic sublattice, adds to the complexity of the magnetic behaviour of the parent compound.

[1] May, A. F. et al, *Sci. Rep.* 6, 35325 (2016)

[2] S. L. Bud'ko, N. H. Jo, S. S. Downing, P. C. Canfield, *J. Magn. Magn. Mater.*, 446, 260 (2018)

[3] K.H.J. Buschow (Ed.), *Handbook of Magnetic Materials* 22, Elsevier, 381-463 (2014)

# Ionic current single peptide detection through graphyne nanopore

Flávia Cristina Assis Silva<sup>1</sup>, Rodrigo Garcia Amorim<sup>2</sup>, Wanderlã L. Scopel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brazil*

<sup>2</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brazil*

Contact e-mail: flavia.assis.silva@gmail.com

Sequencing biomolecules with solid nanopores has emerged as a promising alternative for detecting and analyzing nucleic acids and other biological molecules. Nanopores based on solid-state materials, such as silica, MoS<sub>2</sub> or alumina, are commonly used. Recently, there has been increasing interest in the use of nanopores made of carbon-based nanomaterials, including graphene, graphene oxide, and graphyne, due to their distinctive electrical and mechanical properties. These materials offer the possibility of increasing the resolution and speed of sequencing, as well as enabling the direct detection of molecules without the need for labeling [1]. This study employs classical molecular dynamics simulations as implemented in GROMACS package [3] to investigate the viability of a graphyne nanopore for amino acid sequencing. We considered two amino acid sequences, IEEIYGEFD and IEEIpYGEFD, which are segments of the Epidermal Growth Factor Receptor (EGFR) protein and its phosphorylated form, respectively [2]. These sequences were immersed in water and KCl solutions, and an ionic current simulation was conducted for each amino acid in the graphyne nanopore under different applied voltage perpendicular to the membrane. The analysis of the ionic current through the nanopore for each amino sequence reveals distinguishable patterns across various applied voltage values, indicating the effectiveness of the proposed nanosensor. The graphyne nanopore exhibits remarkable sensitivity in detecting individual amino acids within the sequence. Furthermore, the nanopore exhibits efficiency in distinguishing between both amino acid sequences, resulting in distinct ionic currents for the phosphorylated form, especially within the amino acid region and those bonded directly to it. The fluctuations in ionic current values are directly affected by the dimensions of the adjacent amino acids, which can block the proximity of the pore. Our study reveals that the graphyne nanopore is a promising material for use in amino acid sequencing devices.

## **Acknowledgments:**

We appreciate the support of UFES, CAPES, FAPES (TO-1043/2022), CNPq and CENAPAD-SP.

## References

- [1] Stephanie J. Heerema and Cees Dekker. Graphene nanodevices for DNA sequencing. *Nature Nanotechnology*, 11(2):127–136, February 2016.
- [2] Takahito Ohshiro, Makusu Tsutsui, Kazumichi Yokota, Masayuki Furuhashi, Masateru Taniguchi, and Tomoji Kawai. Detection of post-translational modifications in single peptides using electron tunnelling currents. *Nature nanotechnology*, 9(10):835–840, 2014.
- [3] David Van Der Spoel, Erik Lindahl, Berk Hess, Gerrit Groenhof, Alan E. Mark, and Herman J.C. Berendsen. GROMACS: Fast, flexible, and free. *Journal of Computational Chemistry*, 26(16):1701–1718, 2005.

# STUDY OF 2D HETEROSTRUCTURES BASED ON MACHINE LEARNING TECHNIQUES

\*João V. B. Del Piero<sup>1</sup>, Flávia C. Assis Silva<sup>1</sup>, Marcio Jorge Teles da Costa<sup>2</sup>,  
Wanderlã L. Scopel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo  
Vitória - ES, 29500-000, Brazil*

<sup>2</sup>*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense  
Niterói -RJ, 24210-346, Brazil*

joao.piero@edu.ufes.br

Motivated by the unique properties of 2D materials, the experimental obtaining of an energetically stable two-dimensional structure from layered bulk materials, such as graphene<sup>[1]</sup>, or by growing technics<sup>[2]</sup>, has grown very fast. Once isolated, its mechanical, electronic, optical, and electrochemical properties can be engineered through adatoms or strain, as well as through the combination of two or more different materials. The construction of heterostructures is a promising way to tune specific properties, such as the reported reduction of the optically active band gap in MoS<sub>2</sub>-WS<sub>2</sub> heterojunction<sup>[3]</sup>, or the increase of the chemical stability in Graphene-Phosphorene<sup>[4]</sup>. However, there exist different materials that can be combined to construct these heterostructures and it is growing rapidly in quantity, complexity, and computational demand, making the analysis of the theoretical and experimental data difficult to be done. In this context, using high-throughput calculations and techniques of machine learning (ML)<sup>[5]</sup>, this work proposes the construction of several heterostructures combining different synthesized materials such as: (i) metals, (ii) insulators, and (iii) semiconductors. After the construction of the heterostructures, some ML models are proposed to identify and predict patterns in its properties, such as thermal and electrical conductivity, structural stability, and optical.

**Acknowledgment:** The authors acknowledge the financial support of FAPES and computational support of UFES, CNPq, INCT-Materials Informatics, and CENAPAD-SP.

## References

- [1] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D.-e. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov, Electric field effect in atomically thin carbon films, *Science* 306 (5696) (2004) 666–669.
- [2] Y. Gong, H. Yuan, C.-L. Wu, P. Tang, S.-Z. Yang, A. Yang, G. Li, B. Liu, J. van de Groep, M. L. Brongersma, et al., Spatially controlled doping of two-dimensional s<sub>ns</sub>2 through intercalation for electronics, *Nature nanotechnology* 13 (4) (2018) 294–299.
- [3] K. Kośmider, J. Fernández-Rossier, Electronic properties of the mos<sub>2</sub>-ws<sub>2</sub> heterojunction, *Phys. Rev. B* 87 (2013) 075451.
- [4] Y. Cai, G. Zhang, Y.-W. Zhang, Electronic properties of phosphorene/graphene and phosphorene/hexagonal boron nitride heterostructures, *The Journal of Physical Chemistry C* 119 (24) (2015) 13929–13936.
- [5] G. R. Schleder, A. C. M. Padilha, C. M. Acosta, M. Costa, A. Fazzio, From dft to machine learning: recent approaches to materials science—a review, *Journal of Physics: Materials* 2 (3) (2019) 032001.

# FÍSICA ATÓMICA E MOLECULAR



**Título:** Cálculo de parâmetros atômicos de Y, Au e Pt em condições LTE e NLTE, para identificação de elementos em kilonovas

A recente detecção de múltiplas colisões de estrelas de neutrões, em particular a observação de GW170817 e o respetivo transiente eletromagnético AT2017gfo (i.e. kilonova), forneceu a primeira evidência de que podem ser sintetizados elementos por processo r nestes ambientes explosivos. Com o intuito de prever quais os elementos sintetizados, é crucial integrar propriedades atômicas e nucleares com simulações astrofísicas, permitindo a comparação de modelos teóricos com os dados observacionais. Visando isso, é essencial melhorar as bases de dados atômicas para produzir simulações mais rigorosas [1,2].

Neste trabalho, fornecemos resultados de estrutura atômica, processos radiativos e de colisão para Au, Y e Pt, necessários para a modelação da kilonova durante os vários estágios de evolução: desde os instantes iniciais, em que a aproximação de equilíbrio termodinâmico local é válida (LTE) até fases mais avançadas, em que as densidades do ejeta são menores e verifica-se uma evolução para condições de não-equilíbrio termodinâmico (NLTE). Desvios previstos nas populações dos níveis e nas opacidades, particularmente notáveis vários dias após o evento, enfatizam a importância destes cálculos em NLTE [3].

Os dados atômicos foram determinados utilizando o “Flexible Atomic Code” (FAC) [4], aplicando um potencial central otimizado aos dados experimentais existentes, através da aplicação de métodos de aprendizagem automática [5].

## Referências

- [1] N. Domoto, M. Tanaka, D. Kato, K. Kawaguchi, K. Hotokezaka, and S. Wanajo, “Lanthanide Features in Near-infrared Spectra of Kilonovae” *The Astrophysical Journal*, vol. 939, no. 1, p. 8, Oct. 2022, doi: 10.3847/1538-4357/ac8c36.
- [2] R. F. Silva, J. M. Sampaio, P. Amaro, A. Flörs, G. Martínez-Pinedo and J. P. Marques, “Structure Calculations in Nd III and U III Relevant for Kilonovae Modelling,” *Atoms*, vol. 10, no. 1, p. 18, Mar. 2022, doi: 10.3390/atoms10010018.
- [3] Quentin Pognan, Anders Jerkstrand, Jon Gruner, “NLTE effect on kilonova expansion opacities”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 513, Issue 4, July 2022, Pages 5174–5197, <https://doi.org/10.1093/mnras/stac1253>
- [4] M. F. Gu, “The Flexible Atomic Code,” *Canadian Journal of Physics*, vol. 86, no. 5, pp. 675–689, May 2008, doi: 10.1139/p07-197.
- [5] A Flörs, R F Silva, J Deprince, H Carvajal Gallego, G Leck, L J Shingles, G Martínez-Pinedo, J M Sampaio, P Amaro, J P Marques, S Goriely, P Quinet, P Palmeri, M Godefroid, Opacities of singly and doubly ionized neodymium and uranium for kilonova emission modeling, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 524, Issue 2, September 2023, Pages 3083–3101, <https://doi.org/10.1093/mnras/stad2053>

# DOUBLE CRYSTAL HIGH RESOLUTION SPECTRA SIMULATION

**D. Bakher<sup>1,2</sup>, F. Parente<sup>3</sup>, J. M. Sampaio<sup>1,2</sup>, J. P. Marques<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> LIP-Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Av. Prof. Gama Pinto 2, 1649-003, Lisboa, Portugal

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, Ed. C8, 1749-016 Lisboa, Portugal

<sup>3</sup> Laboratory of Instrumentation, Biomedical Engineering and Radiation (LiBPhys-UNL), Dep. Physics, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, 2829-516, Caparica, Portugal

E-mail de contacto: [jmmarques@fc.ul.pt](mailto:jmmarques@fc.ul.pt)

## ABSTRACT

The  $K\alpha$  and  $K\beta$  x-ray emission spectra of the 3d transition metals exhibit several peculiar asymmetric line profiles not observed in other elements [1], whose origin has been under investigation and debate [2]. Several mechanisms such as shake processes, conduction-band collective excitation, exchange, and final-state interactions were suggested to account for this effect.

Combined *ab initio* Dirac-Fock calculations and high-resolution x-ray emission measurements of  $K\alpha_{1,2}$  spectra for elements Ca, Ti, and Ge show that the asymmetric line shapes of these emission lines can be fully explained by considering only the diagram and the 3d spectator transitions.

To simulate diagram and satellite x-ray emission spectra we need to know several atomic parameters such as level energies, transition amplitudes, and shake probabilities that were calculated with the relativistic atomic structure code, MCDFGME, developed by Desclaux and Indelicato [3,4].

[1] J. Finster, G. Leonhardt, and A. Meisel, J. Phys. Coll. 32, C4-218(1971).

[2] G. Hölzer, M. Fritsch, M. Deutsch, J. Härtwig, and E. Forster, Phys. Rev. A56, 4554 (1997).

[3] J. P. Desclaux, Comp. Phys. Commun. 9:31(1975)

[4] P. Indelicato and J. P. Desclaux, MCDFGME, a Multi- Configuration Dirac Fock and General Matrix Elements program (release 2022v3), <http://kroll.lkb.upmc.fr/mcdf>

# NEW XFCT IMAGING SYSTEM BASED ON MICROPATTERN GASEOUS DETECTORS: PROOF-OF-CONCEPT

**F. D. Leite<sup>1</sup>, J. F. C. A. Veloso<sup>1</sup>, S. Pessanha<sup>2</sup>, A. L. M. Silva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute for Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication (i3N), Physics Department, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro - Portugal

<sup>2</sup> LIBPhys & NOVA FCT (Physics Department), 2829-516 Monte da Caparica, Portugal

E-mail de contacto: [flavia.leite@ua.pt](mailto:flavia.leite@ua.pt)

## RESUMO

The X-ray fluorescence (XRF) technique allows for precise elemental identification. When combined with Computed Tomography (CT), the resulting imaging modality, X-ray Fluorescence Computed Tomography (XFCT), enables the mapping of three-dimensional (3D) elemental distribution within a sample. One of the applications of this technique is the analysis of metal nanoparticles, which have gained significant attention in biomedical imaging [1,2].

Gaseous Detectors present an appealing alternative, to the commonly used silicon-based detectors in this modality, due to their single photon counting capabilities, possible large active areas and lower cost. Micropattern gaseous detectors (MPGDs) can be considered as a viable option for XFCT systems, as they have gained popularity in the scientific community in recent years, as an alternative to other detectors used in full field X-ray imaging systems [3].

In this work, we present a new generation of XFCT imaging system based on gaseous detectors. The system is composed by an optical system (pinhole or multi-hole collimator), an X-ray tube, a step-motor and an a THCOBRA-based detector operating in pure Kr@1bar. The experimental setup involves placing the sample on a platform connected to a step-motor, which enables the rotation of the sample across a range of angles from 0 to 360 degrees. For each angle position, the sample is irradiated by X-rays from the tube, which emits characteristic photons that pass through the optical system and impinge the detector. The location and energy of the interaction of each photon detected are then saved and the collected data of all angular projections is processed to reconstruct the 3D fluorescence image of the sample.

First simulation and experimental results will be presented, showing this new concept and its capability to produce 3D X-ray fluorescence images of samples.

[1] H. Moktan, M. F. Ahmed, S. Jayarathna, L. Deng, and S. H. Cho, 'Monte Carlo study of x-ray detection configurations for benchtop x-ray fluorescence computed tomography of gold nanoparticle-loaded objects', *Phys. Med. Biol.*, vol. 65, no. 17, Aug. 2020, doi: 10.1088/1361-6560/ab9774.

[2] S.-K. Cheong, Bernard L. Jones, A. K. Siddiqi, F. Liu, N. Manohar, and S. H. Cho, 'X-ray fluorescence computed tomography (XFCT) imaging of gold nanoparticle-loaded objects using 110 kVp x-rays.', *Phys. Med. Biol.*, vol. 55, no. 3, pp. 647–62, Feb. 2010, doi: 10.1088/0031-9155/55/3/007.

[3] A. L. M. Silva, M. L. Carvalho, K. Janssens, and J. F. C. A. Veloso, 'A large area full-field EDXRF imaging system based on a THCOBRA gaseous detector', *J. Anal. At. Spectrom.*, vol. 30, no. 2, pp. 343–352, Jan. 2015, doi: 10.1039/C4JA00301B.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This work was partially supported by projects CERN/FIS-INS/0013/2021 and STRONG-2020 – 824093 through FCT and H2020 programs. It was also developed within the scope of the i3N (UIDB/50025/2020 & UIDP/50025/2020 & LA/P/0037/2020), financed by national funds through the FCT/MEC COMPETE, FEDER and POCI programs. F. D. Leite is grateful to FCT for the PhD grant 2022.10237.BD.

# HOW A SIMPLE OXIME-BASED MOLECULAR SWITCH BREAKS THEORY

**Rita J. C. Roque<sup>1</sup>, Nuno M. Campos<sup>1</sup>, Elisa M. Brás<sup>1</sup>, Sérgio R. Domingos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: [ritaroque@fis.uc.pt](mailto:ritaroque@fis.uc.pt)

## RESUMO

Molecular switches participate in many key biological processes, also being widely used in molecular nanotechnology applications [1,2]. Despite their popularity, many of their intricate working mechanisms are still not completely understood [3-5]. Rotational spectroscopy, in combination with auxiliary quantum chemistry calculations, is a powerful technique capable of probing the molecular structure and the intricate conformational dynamics of these molecular switches in a controlled environment. In this context, we have been investigating the behavior of a prototype switch, camphorquinone oxime, a chiral molecule with an oxime functional group that establishes an alternating open-closed configuration by breaking and reforming a hydrogen bond. We measured the rotational spectrum of this system in the cold conditions of a supersonic jet expansion using a chirped-pulse Fourier transform microwave (CP-FTMW) spectrometer in the 2-8 GHz range. Upon interpreting these experiments, we stumbled upon a strong mismatch between experiment and theory predictions; one of the most widely used DFT methods fails both in predicting the relative energy of the different conformers, as well as their nuclear quadrupole coupling constants. In this contribution, we will discuss the possible causes and implications of this phenomenon.

[1] W. Viricel, A. Mbarek, J. Leblond, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2015, 54 (43), 12743-12747

[2] F. M. Raymo, *Advanced Materials*, 2002, 14 (6), 401-414.

[3] L. Greb, A. Eichhofer, J.-M. Lehn, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2015, 54, 14345-14348

[4] S. Kassem, T. van Leeuwen, A. S. Lubbe, et al., *Chem. Soc. Rev.*, 2017, 46, 2592-2621

[5] C. H. Pollok, T. Riesebeck, C. Merten, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2017, 56, 1925-1928

# SYMMETRY BREAKING OF NUCLEAR QUADRUPOLE COUPLINGS DURING TETREL BOND FORMATION IN SUPRAMOLECULAR SYNTHONS

**Nuno M. Campos<sup>1</sup>, Rita J. C. Roque<sup>1</sup>, Elisa M. Brás<sup>1</sup>, Tidido J. Mooibroek<sup>2</sup>, Melanie Schnell<sup>3</sup>, Sérgio R. Domingos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences, University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands

<sup>3</sup> FS-SMP, Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg, Germany

E-mail de contacto: nuno.campos@fis.uc.pt

## RESUMO

1,1,2,2-Tetracyanocyclopropane (TCCP) and its derivatives can serve as synthetically accessible and versatile supramolecular synthons [1]. The four cyano groups create an electron-poor region in the center of the  $(\text{NC})_2\text{C}-\text{C}(\text{CN})_2$  fragment, which can interact with an electron rich partner, like the lone pair in tetrahydrofuran (THF), through tetrel bonds with the  $\text{sp}^3$  hybridized carbons [2]. Microwave spectroscopy, when combined with quantum chemistry calculations, can be a useful tool to study these interactions. However, the presence of four nitrogen atoms complicates the analysis of the rotational spectrum. The splitting pattern of rotational lines due to the presence of the quadrupolar electric field of a single nucleus is normally easy to resolve, however each additional nuclei with a quadrupolar electric field increases its complexity considerably. We will present and discuss our analysis of the broadband rotational spectra of 3,3-dimethyl-TCCP and 3,3-diethyl-TCCP and their complexes with THF, obtained from full and partial fits including nuclear quadrupole interactions. These results illustrate both the potential and limitations of broadband microwave experiments in accurately determining information from hyperfine splitting.

[1] Antonio Bauzá, Antonio Frontera and Tidido J. Mooibroek, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 18, 1693 (2016)

[2] Victoria L. Heywood, Thomas P. J. Alford, Julius J. Roeleveld, Siebe J. Lekanne Deprez, Abraham Verhoofstad, Jarl Ivar van der Vlugt, Sérgio R. Domingos, Melanie Schnell, Anthony P. Davis and Tidido J. Mooibroek, *Chem. Sci.*, 11, 5289 (2020)

# ASSESSING THE MOLECULAR COMPOSITION OF VAPING LIQUIDS USING ROTATIONAL SPECTROSCOPY: ARE THEY SAFE?

**Bruno M. V. Miroto<sup>1</sup>, André H. A. Roque<sup>1</sup>, Nuno M. Campos<sup>1</sup>, Rita J. C. Roque<sup>1</sup>, Sérgio R. Domingos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: [ritaroque@uc.pt](mailto:ritaroque@uc.pt)

## RESUMO

Molecular rotational resonance (MRR) spectroscopy can resolve the structure of polar molecules, enabling an unambiguous identification of individual molecules in complex mixtures without the need for prior separation [1]. To validate this technique as a suitable tool for industrial quality control, we studied a vaping liquid (e-liquid) composed of commercially available products for smokers: the bases – propylene glycol (PG) and vegetable glycerin (VG) –, and a eucalypt and mint flavor. This sample was cooled down to near-absolute-zero temperatures via a supersonic jet expansion and the corresponding rotational spectrum was acquired with a state-of-the-art MRR spectrometer operating in the 2-8 GHz frequency range.

We identified the seven most stable conformers of PG, and the carbon-13 isotopologues in natural abundance for the three most abundant species [2]. Two VG conformers [3] were also present in the vaping liquid, as well as the molecular fingerprints of eucalyptol [4] and menthol [5]. So far, we were unable to identify any additional molecules in this mixture. This is good news for vapers since they seem to remain unexposed to toxic molecules with this kind of smoking practice.

[1] Gordy W, Cook RL, Microwave Molecular Spectra, John Wiley & SonsInc, (1984)

[2] Ilyushin, V. V., Motiyenko, R. A., Lovas, F. J., Plusquellic, D. F., Journal of Molecular Spectroscopy, 251(1-2), 129-137 (2008)

[3] Lovas, F. J., Plusquellic, D. F., Pate, B. H., Neill, J. L., Muckle, M. T., Remijan, A. J., Journal of Molecular Spectroscopy, 257(1), 82-93 (2009)

[4] Medcraft, C., Schnell, M., Zeitschrift für Physikalische Chemie, 230(1), 1-14 (2016)

[5] Schmitz, D., Shubert, V. A., Betz, T., Schnell, M, Frontiers in chemistry, 3, 15 (2015)

## **Ion mobility studies in Xe-SF<sub>6</sub> and Ne-SF<sub>6</sub> mixtures**

A. P. Marques<sup>a,b</sup>, A. M. F. Trindade<sup>a,b</sup>, J. Escada<sup>a,b</sup>, F. I. G. M. Borges<sup>a,b</sup> and F. P. Santos<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

<sup>b</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

Our group recently developed a new experimental system to measure the mobility of both positive and negative ions: the Dual-Polarity Ion Drift Chamber (DP-IDC). This system aims to enhance the understanding of ion transport properties in gases, specifically ion mobilities in their parent gases, which is crucial for the performance of large-volume gaseous detectors and the optimization of Negative Ion Time Projection Chambers (NITPCs) used in rare-event searches.

Optimizing gas mixtures for these detectors is especially important as the drift of ions can significantly affect signal formation, tracking capability, and spatial resolution, potentially limiting their rate capability. Additionally, comprehending the various ion species in specific gas mixtures is vital for identifying potential minority charge carriers (for the case negative ions), which could lead to the development of new internal trigger methods in NITPCs and further reduce background noise.

This work presents a description of the experimental setup and technique used, along with initial studies conducted on mixtures relevant to NITPCs, specifically Xe-SF<sub>6</sub> and Ne-SF<sub>6</sub> mixtures. These mixtures have gained interest as a potential alternative to gas mixtures that use electron drift for neutrinoless double-beta decay searches.



## Negative Ions as Charge Carriers in Gaseous Detectors

A. P. Marques<sup>a,b</sup>, A. M. F. Trindade<sup>a,b</sup>, J. Escada<sup>a,b</sup>, F. I. G. M. Borges<sup>a,b</sup> and F. P. Santos<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

<sup>b</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

Gaseous detectors are versatile devices that have recently found a new application in demanding rare-event search large-scale experiments (like the neutrinoless double-beta decay search) due to their capability to accommodate the features like particle identification, tracking and efficient background rejection. In these large-scale experiments, one of the biggest constraints is electron diffusion, especially relevant in noble gases. Molecular additives have long been the traditional solution, though they do come with certain drawbacks. Therefore, alternative solutions have been explored, including the use of negative ions as charge carriers, leveraging the fact that anions exhibit much smaller diffusion compared to electrons.

Another advantage of using negative ions is that various anion species can be formed, enabling the determination of the z-coordinate of the interaction point, through the difference in the time of drift of the different anions.

To adopt this technique, several conditions must be met beyond electron attachment and subsequent extraction efficiencies from the electronegative additive. One issue to address is that gas detectors usually require an amplification stage, either through charge multiplication or electroluminescence production. The impact of the electronegative component on these processes has to be studied. Regarding electroluminescence, there are no known results to our best knowledge.

This presentation aims to present an experimental apparatus that will allow to assess the viability of this solution and its first results.

# IR SPECTRA OF $(\text{H}_2\text{O})_m : (\text{HCN})_n$ MIXTURES

\*D. P. Freitas<sup>1</sup>, F. N. N. Pansini<sup>1</sup>, A. J. C. Varandas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, 29075-910, Vitória, Brazil*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Qufu Normal University, China, and Department of Chemistry, and Chemistry Centre, University of Coimbra, 3004-535 Coimbra, Portugal*

darlene.freitas@edu.ufes.br

Water ( $\text{H}_2\text{O}$ ) is an essential function in the creation of primordial chemicals [1]. Hydrogen cyanide (HCN), on the other hand, is the most prevalent organic chemical containing carbon and nitrogen, and its existence has been identified in both terrestrial and interplanetary environments [2]. In turn clusters of HCN have attracted the interest of researchers because of their capacity to organize themselves into linear chains [2]. Similarly, hydrogen bonds have piqued the curiosity of researchers in physics and chemistry, resulting in a considerable rise in the study of structures using hydrogen-bonded systems. In this context, the  $\text{H}_2\text{O}:\text{HCN}$  complex has been extensively investigated both experimentally, through spectroscopy [3], and theoretically [1]. Our primary objective is the characterization of the infrared (IR) spectrum of the  $(\text{H}_2\text{O})_m : (\text{HCN})_n$  mixture across various concentrations. In this work, we employ Density Functional Theory at D3-B3LYP/aug-cc-pVDZ level combined with the CPCM solvent model, to study the title mixtures following the same methodology previously employed for  $\text{H}_2\text{O}$ [4] and HCN[5].

## References

- [1] R. Rivelino, S. Canuto, *J. Phys. Chem. A* 105 (2001) 11260–11265.
- [2] I. Brandão, R. Rivelino, T. L. Fonseca, M. A. Castro, *Chem. Phys. Lett.* 580 (2013) 9–13.
- [3] G. Danger, A. Rimola, N. Abou Mrad, F. Duvernay, G. Roussin, P. Theule, T. Chiavassa, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 16 (2014) 3360–3370.
- [4] F. N. N. Pansini, A. J. C. Varandas, *Chem. Phys. Lett.* (2022) 139739.
- [5] D. P. Freitas, F. N. N. Pansini, A. J. C. Varandas, *Chem. Phys. Lett.* 828 (2023) 140734.

# FÍSICA DE PARTÍCULAS E COSMOLOGIA

# GAMMA IMAGING WITH A COMPTON CAMERA BASED ON GASEOUS DETECTOR

**L. F. N. D. Carramate<sup>1</sup>, R. Mendes<sup>1</sup>, A. Correia<sup>1</sup>, F. Lucas<sup>1</sup>, M. E. Loureiro<sup>1</sup>, V. Bonifácio<sup>2</sup>, J. F. C. A. Veloso<sup>1</sup>, and C. D. R. Azevedo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> I3N, Physics Department, University of Aveiro, 3810-193 – Aveiro, Portugal

<sup>1</sup> CIDTFF, Physics Department, University of Aveiro, 3810-193 – Aveiro, Portugal

E-mail de contacto: [laracarramate@ua.pt](mailto:laracarramate@ua.pt)

Anger Cameras have been successfully applied for gamma imaging. Despite this, their sensitivity is limited by the presence of a mechanical collimator and their detection efficiency reduces as the photon energy increases. Compton Cameras are a possible competitor for Anger Cameras as they offer better sensitivity primarily due to the absence of a mechanical collimator and can potentially overcome the detection efficiency limitation. The collimation in Compton Cameras is performed electronically, which holds the potential to not only improve the quality of nuclear medicine images, but also reduce patients' radiation exposure. Its configuration enables the detection of scattered photons and recoil electrons, as well as the determination of their energy, which allows the construction of conic surfaces of probability indicative of the primary photon's site. By intersecting these conic surfaces, it becomes possible to identify the most probable location of the source. Within the DRIM group, a Compton Camera based on Gaseous Detectors is being developed [1]. The proposed Compton Camera concept can detect recoil electrons and scattered photons across a  $4\pi$  solid angle in the same detection volume, potentially increasing sensitivity even further when compared to other designs that require two detector volumes with a limited solid angle. In this context, a simulation study was conducted with a radioactive point-like sources to evaluate the feasibility of the proposed solution. The results will be presented, particularly the obtained images, which demonstrate the set-up viability.

[1] C. D. R. Azevedo et al., "A Gaseous Compton Camera using a 2D-sensitive gaseous photomultiplier for Nuclear Medical Imaging," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. 732, pp. 551–555, 2013, doi: 10.1016/j.nima.2013.05.116.

**Acknowledgements:** The costs resulting from the FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.– Portuguese Foundation for Science and Technology) hiring, L.F.N.D. Carramate, were funded by national funds (OE) in the scope of the framework contract 2022.00387.CEECIND (<https://doi.org/10.54499/2022.00387.CEECIND/CP1720/CT0022>). This work is financed by national funds through FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. and the Ministry of Science, Technology and Higher Education under projects LA/P/0037/2020, UIDB/50025/2020, UIDP/50025/2020, UIDB/00194/2020, UIDP/00194/2020 and by project STRONG-2020–824093 through H2020 program.

# O UPGRADE DA EXPERIÊNCIA ATLAS DO LHC

**R. Gonçalo**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

E-mail de contacto: [jgoncalo@uc.pt](mailto:jgoncalo@uc.pt)

## RESUMO

Correntemente no seu terceiro período de recolha de dados, o acelerador LHC [1] do CERN representa a atual fronteira da alta energia na física experimental de partículas. As suas experiências publicaram já muitas centenas de medidas, contribuindo significativamente para o nosso conhecimento nesta área. Mas a maior parte dos dados experimentais esperados serão obtidos apenas durante a fase de alta luminosidade do LHC [2]. Nesta fase serão produzidas cerca de oito mil milhões de colisões de prótons por segundo em cada experiência do LHC. Para poder atingir essa luminosidade, e explorar de forma ótima todo o potencial destes dados, foi lançado um vasto programa de melhoramentos do LHC e das suas experiências. Esta comunicação resume o programa de upgrade do LHC e em particular da experiência ATLAS [3], com especial foco na contribuição portuguesa. Este upgrade permitirá a operação da experiência até 2040, contribuindo para alargar as fronteiras do nosso conhecimento da física de partículas.

[1] L. R. Evans and P. Bryant, “LHC Machine,” JINST, vol. 3, p. S08001. 164 p, 2008.

[2] B. Schmidt, “The high-luminosity upgrade of the LHC: Physics and technology challenges for the accelerator and the experiments,” Journal of Physics: Conference Series, vol. 706, p. 022002, Apr 2016.

[3] ATLAS Collaboration, “The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider,” JINST, vol. 3, p. S08003. 437 p, 2008

# W PAIR PRODUCTION CATEGORISATION AT ILD

**André Filipe Silva**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY

E-mail de contacto: [andre.filipe.silva@desy.de](mailto:andre.filipe.silva@desy.de)

## RESUMO

Future Higgs/top/electroweak factories not only allow the study of the Higgs boson, but also of W and Z bosons in several orders of magnitude more detail than at previous experiments such as LEP. In particular W bosons offer many opportunities to look for new physics in precision studies using decay modes or angular distributions of the decaying W bosons. This talk present a categorisation of all decay channels (hadronic, semileptonic and fully leptonic) of  $WW \rightarrow 4f$  events based on MC truth as well as on reconstructed data from full simulation of the ILD detector model. This categorisation serves as common starting point for all future physics studies on W bosons with the ILD and potentially any Higgs factory detector. An outlook is given for an application of the categorisation in a study of the angular distribution of W bosons.

# Superradiant axion clouds around asteroid-mass primordial black holes

**N. P. Branco<sup>1</sup>, J. G. Rosa<sup>1</sup>, R. Z. Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Univ Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra and CFisUC, Rua Larga, 3004-516 Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: popebranco@hotmail.com

## RESUMO

We analyze the dynamics and observational signatures of axion clouds formed via the superradiant instability around primordial black holes, focusing on the mass range  $10^{14} - 10^{18}$  kg where the latter may account for all the dark matter. We take into account the leading effects of axion self-interactions, showing that, even though these limit the number of axions produced within each cloud, a large number of superradiant axions become free of the black hole's gravitational potential and accumulate in the intergalactic medium or even in the host galaxy, depending on their escape velocity. This means that primordial black hole dark matter may lead to a sizeable astrophysical population of non-relativistic axions, with masses ranging from 0.1 eV to 1 MeV, depending on the primordial black hole mass and spin. We then show that if such axions couple to photons their contribution to the galactic and extragalactic background flux, mainly in the X-ray and gamma-ray band of the spectrum, is already beyond current observational limits for a large range of parameters that are, therefore, excluded. We finish by showing the prospects of the Athena X-ray telescope to further probe this co-existence of primordial black holes and axions.

[1] N. P. Branco, R. Z. Ferreira, and J. a. G. Rosa, Superradiant axion clouds around asteroid-mass primordial black holes, *JCAP* **04**, 003, [arXiv:2301.01780](https://arxiv.org/abs/2301.01780) [hep-ph].

# Asymmetries in invisible Dark Matter mediator production associated with $t\bar{t}$ final states

E. Chalbaud<sup>1\*</sup>, Rui M. Silva<sup>1,2†</sup>, António Onofre<sup>2‡</sup>,  
Ricardo Gonçalo<sup>1§</sup>, Miguel C. N. Fiolhais<sup>1,3,4¶</sup>

<sup>1</sup>*Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas,  
Department of Physics, University of Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal*

<sup>2</sup>*Centro de Física da Universidade do Minho e Universidade do Porto (CF-UM-UP),  
Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal*

<sup>3</sup>*Science Department, Borough of Manhattan Community College,  
The City University of New York, 199 Chambers St, New York, NY 10007, USA*

<sup>4</sup>*The Graduate School and University Center, The City University of New York,  
365 Fifth Avenue, New York, New York 10016, USA*

## Abstract

In this paper, we propose two sets of different CP-sensitive observables inspired by the Higgs production in association with the top quark. We employ a Dark Matter simplified model that couples a scalar particle with three generation fermions with a mass equal to that of the top quark. The reconstruction of the kinematic variables is presented at NLO accuracy for events associated with this massive scalar particle, which is assumed to be vanishing to invisible decays in a detector such as ATLAS. We build these observables by taking advantage of the similarity between the scalar coupling with the top quark and the factorization theorem in the total scattering amplitude, in order to represent the basis in which the phase space is parameterized. A twofold approach employs the direct implementation of the four-momentum phase space measure in building CP sensitive observables such as  $b_2$  for the Higgs, and the spin polarization of the top-quark decays in the narrow width approximation for the employed model. We studied the asymmetries of these distributions to test for any improvement in increasing the exclusion region for the  $g_{u_{33}}^S - g_{u_{33}}^P$  parameters associated with this vanishing scalar particle. We have found no significant effect in the exclusion limits by using the forward-backward asymmetry distributions and the full shaped ones. The best limits obtained for  $g_{u_{33}}^S$  at NLO accuracy were obtained:  $b_2 : [-0.0425, 0.0475]$   $n_4 : [-0.0450, 0.0450]$  for an invisible scalar with a mass of  $10^{-2}$  GeV for a luminosity of  $300 \text{ fb}^{-1}$  expected for the end of Run 3 of the LHC.

---

\*E-mail: e.chalbaud@cern.ch

†E-mail: rui.miguel.silva@coimbra.lip.pt

‡E-mail: antonio.onofre@cern.ch

§E-mail: jose.Goncalo@cern.ch

¶E-mail: miguel.fiolhais@cern.ch



# ANTIPROTON PRODUCTION IN PROTON-HELIUM COLLISIONS AT THE AMBER EXPERIMENT

**Guilherme Filipe Marques Almeida<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> LIP – Laboratório de Instrumentação e Partículas

## ABSTRACT

The new AMBER experiment at the CERN Super Proton Synchrotron (SPS) began data collection in 2023. One of its goals is the study of the antiproton production process from proton collisions on a helium target, with beam energies in the range 50-250 GeV. One of the features of the AMBER beam is that it consists of a mixture of particles species: protons, pions and kaons. The verification of the alignment of the detectors used in the experimental apparatus will be done by measuring the mass of the  $K_S^0$  meson particle and comparing it to the tabulated one. Particle identification is essential in the present analysis and it is mostly done by the use Cherenkov-type detectors. The main steps of this study will be presented.

# DISCRIMINATION OF MULTIPLE SCATTER BACKGROUNDS TO ENHANCE THE SENSITIVITY OF THE LZ DETECTOR TO $0\nu\beta\beta$ DECAY

S. Saltão<sup>1,2</sup>, P. Brás<sup>1,2</sup>, A. Lindote<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP)

<sup>2</sup> Departamento de Física, Universidade de Coimbra

E-mail de contacto: [sandro.saltao@coimbra.lip.pt](mailto:sandro.saltao@coimbra.lip.pt)

## RESUMO

Neutrinoless double beta decay ( $0\nu\beta\beta$ ) holds profound implications for particle physics, offering a window into fundamental properties of neutrinos and the violation of lepton number conservation. The observation of  $0\nu\beta\beta$  would provide crucial insights into the Majorana nature of neutrinos and shed light on the observed matter-antimatter asymmetry of the universe. Therefore, the search for  $0\nu\beta\beta$  is paramount in advancing our understanding of the fundamental constituents of the cosmos. Dual-phase xenon time projection chambers (TPCs) provide the best sensitivity to direct Dark Matter searches and have also emerged as a competitive tool to probe other rare physics processes, such as  $0\nu\beta\beta$  in Xe-136. These detectors offer a unique combination of high sensitivity to low-energy interactions and excellent background rejection capabilities. By utilizing liquid xenon as both a target and a detection medium, dual-phase xenon detectors can achieve unprecedented levels of sensitivity to  $0\nu\beta\beta$ .

The LUX-ZEPLIN (LZ) experiment is a dual-phase xenon TPC and stands out as the world leader among the various experiments aiming to directly detect WIMPs [1]. LZ combines an active mass of 7 tons (the largest ever in this type of detector) with ultra-low background levels, making it ideally suited for both dark matter and  $0\nu\beta\beta$  searches. Leveraging dual-phase xenon TPC technology, LZ aims to push the boundaries of sensitivity in both research fields.

Crucially, the sensitivity of  $0\nu\beta\beta$  experiments like LZ is intricately linked to their ability to discriminate between the single scatter interactions produced by these decays (signal events) and multiple scatter interactions from background sources. High-energy gamma rays from radioactivity in the cavern walls and the materials used to construct the detector are the main background for this search and are very likely to produce multiple scatters (Compton scatters and photoelectric effect). Multiple scatters will lead to the production of multiple signals within the detector that, if misidentified as single scatters, will contaminate the  $0\nu\beta\beta$  signal. Therefore, the ability to separate these events with high efficiency is crucial for enhancing the sensitivity of  $0\nu\beta\beta$  searches.

In this talk, I will present an algorithm that uses the non-linear least squares method for fitting one-vs-many Gaussian distribution functions to the signal waveforms in order to model their shape and calculate the vertical distance between the interaction vertices in the case of multiple scatters. The algorithm has been shown to achieve 2 mm of vertical separation for the full depth of the LZ TPC [2]. This represents a significant improvement in discriminating unresolved multiple scatters in dual-phase xenon detectors from the initial 4 mm vertical separation and can lead to an improvement of around 25% in the LZ sensitivity to  $0\nu\beta\beta$ .

[1] LZ Collaboration, *First Dark Matter Search Results from the LUX-ZEPLIN (LZ) Experiment*, Physical Review Letters, Vol.134, Nr.4 (2023), doi:10.1103/physrevlett.131.041002

[2] Sandro Saltão, *Optimization of the vertical separation of multiple scatter events in the LZ detector with applications in the sensitivity to the  $0\nu\beta\beta$  decay of  $^{136}\text{Xe}$* , (2023), url:<https://hdl.handle.net/10316/107921>.

# FÍSICA NUCLEAR

# CENTER-SYMMETRIC LANDAU GAUGE, THE DECONFINEMENT TRANSITION AND THE GLUON PROPAGATOR AS SEEN IN LATTICE QCD

**Duifje van Egmond<sup>1</sup>, Orlando Oliveira<sup>2</sup>, Urko Reinosa<sup>3</sup>, Julien Serreau<sup>4</sup>, Paulo Silva<sup>2</sup>, Matthieu Tissier<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> ICTP South American Institute for Fundamental Research Instituto de Física Teórica, UNESP—Universidade Estadual Paulista Rua Dr. Bento Teobaldo Ferraz 271, 01140-070, São Paulo, SP, Brazil

<sup>2</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>3</sup> Centre de Physique Théorique, CNRS, Ecole polytechnique, IP Paris, F-91128 Palaiseau, France

<sup>4</sup> Université Paris Cité, CNRS, AstroParticule et Cosmologie, F-75013 Paris, France

<sup>5</sup> Sorbonne Université, CNRS, Laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée, 75005 Paris, France

E-mail de contacto: [psilva@uc.pt](mailto:psilva@uc.pt)

## RESUMO

We address the lattice computation of the gluon propagator in the center-symmetric Landau gauge. After discussing a proper lattice implementation of the center-symmetric Landau gauge, we compare the lattice data with analytical results, and we identify various signatures of center symmetry breaking.

# THE FOUR-GLUON AND GHOST-GLUON VERTICES IN THE LANDAU GAUGE FROM LATTICE SIMULATIONS

**Nuno Brito<sup>1,2</sup>, Manuel Colaço<sup>2</sup>, Orlando Oliveira<sup>2</sup>, Paulo Silva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centre for Mathematical Sciences, University of Plymouth, UK

<sup>2</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: [psilva@uc.pt](mailto:psilva@uc.pt)

## RESUMO

The computation of the four-gluon and ghost-gluon vertices in the Landau gauge using high statistical lattice ensembles for  $32^4$  and  $48^4$  volumes is addressed. For the four-gluon vertex, our previous results for the collinear kinematics are updated allowing to get a better coverage of the IR region. Furthermore, the one-particle irreducible ghost-gluon Green function in the soft gluon limit is computed covering, with precision, a large momentum region.

# SEARCHING FOR RELATIONS BETWEEN NUCLEAR MATTER PROPERTIES AND NEUTRON STAR OBSERVABLES.

**F. Demigio<sup>1</sup>, M. Ferreira<sup>1,2</sup>, C. Providência<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Physics, University of Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal.

<sup>2</sup> CFisUC, University of Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal.

E-mail de contacto: [email@felipedemigio.eu](mailto:email@felipedemigio.eu)

## RESUMO

The project aims to analyze possible non-linear correlations between neutron star observables, such as radius and tidal deformability, and nuclear matter properties. A Symbolic Regression algorithm, specifically the PySR software [1], will be applied to a dataset [2] of nuclear models obtained from a relativistic mean field description of nuclear matter and corresponding neutron star properties. Preliminary results will be presented.

[1] M. Cranmer. Interpretable Machine Learning for Science with PySR and SymbolicRegression.jl. arXiv:2305.01582 [astro-ph, physics:physics] (2023).

[2] T. Malik, M. Ferreira, M. B. Albino, C. Providência. Spanning the full range of neutron star properties within a microscopic description. *Phys. Rev. D* **107**, 103018 (2023).

# GENERAL PREDICTION OF NEUTRON STAR PROPERTIES USING UNIFIED RELATIVISTIC MEAN-FIELD EQUATIONS OF STATE

**L. Scurto<sup>1</sup>, H. Pais<sup>1</sup>, F. Gulminelli<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, 3004-516, Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Normandie Univ., ENSICAEN, UNICAEN, CNRS/IN2P3, LPC Caen, F-14000 Caen, France

E-mail de contacto: [luigiscurto.pr@gmail.com](mailto:luigiscurto.pr@gmail.com)

## RESUMO

In this work we present general predictions for the static observables of neutron stars (NSs) under the hypothesis of a purely nucleonic composition of the ultra-dense baryonic matter, using Bayesian inference on a very large parameter space conditioned by both astrophysical and nuclear physics constraints. The equation of states are obtained using a unified approach of the NS core and inner crust within a fully covariant treatment based on a relativistic mean-field Lagrangian density with density dependent couplings. The posterior distributions are well compatible with the ones obtained by semi-agnostic meta-modelling techniques based on non-relativistic functionals, that span a similar portion of the parameter space in terms of nuclear matter parameters, and we confirm that the hypothesis of a purely nucleonic composition is compatible with all the present observations. We additionally show that present observations do not exclude the existence of very massive neutron stars with mass compatible with the lighter partner of the gravitational event GW190814 measured by the LIGO-Virgo collaboration. Some selected representative models, that respect well all the constraints taken into account in this study, and approximately cover the residual uncertainty in our posterior distributions, will be uploaded in the CompOSE database for use by the community.

[1] L.Scurto, H.Pais, F.Gulminelli, Phys.Rev.D 109,103015 (2024)

# HYBRID STARS: BAYESIAN APPROACH WITH NJL

**Milena Albino<sup>1</sup>, Constança Providência<sup>1</sup>, Tuhin Malik<sup>1</sup>, Márcio Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Department of Physics, CfisUC, University of Coimbra, P-3004-516 Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: [milena.albino@student.uc.pt](mailto:milena.albino@student.uc.pt)

## RESUMO

Neutron stars are the most compact objects in the Universe. The core composition of these extremely compact objects remains a mystery. One possibility is that the core has such high densities that matter can deconfine into quark matter. If this is the case, then neutron stars are hybrid stars: neutron stars with a quark core surrounded by a hadron crust. In this paper, we investigate this using a Bayesian approach. The quark phase of our model is described by the Nambu-Jona-Lasinio (NJL) Lagrangian with some additional interaction terms. For the hadron phase, we use the relativistic mean-field model [1]. Furthermore, the Bayesian approach allows us to obtain numerous equations of state satisfying some imposed constraints (such as observational data). In some sets of equations we have also imposed a constraint coming from pQCD calculations [2]. Our results show that hybrid stars are able to satisfy the observational data. We also show that the pQCD constraint can have an effect on the results.

[1] Tuhin Malik, Márcio Ferreira, Milena Albino, Constança Providência, Physical Review D 107.10 (May 2023). DOI: 0.1103/physrevd.107.103018.

[2] Oleg Komoltsev, Aleksii Kurkela, Physical Review Letters 128.20 (May 2022). DOI: 10.1103/physrevlett.128.202701.



# INFRARED SUBTLETIES AND CHIRAL VERTICES AT NLO: AN IMPLICIT REGULARIZATION ANALYSIS

**Ricardo J. C. Rosado<sup>1</sup>, Adriano Cherchiglia<sup>2,3</sup>, Marcos Sampaio<sup>4</sup>, Brigitte Hiller<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, P-3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas \ Rua Sérgio Buarque de Holanda, 777, Campinas, SP, Brasil

<sup>3</sup> Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada, Campus de Fuentenueva, E-18071 Granada, Spain

<sup>4</sup> Universidade Federal do ABC, 09210-580, Santo André, Brasil

E-mail de contacto: [ricardojcrosado@gmail.com](mailto:ricardojcrosado@gmail.com)

## RESUMO

We employ implicit regularization (IReg) in quark-antiquark decays of the  $Z$ , or of a scalar (CP-even or odd) boson at NLO, and compare with dimensional schemes to reveal subtleties involving infrared divergence cancellation and  $\gamma^5$  matrix issues. Besides the absence of evanescent fields in IReg, such as  $\epsilon$ -scalars required in certain schemes that operate partially in the physical dimension, we verify that our procedure preserves gauge invariance in the presence of the  $\gamma^5$  matrix without requiring symmetry preserving counterterms while the amplitude is infrared finite as required by the KLN theorem.

Ricardo JC Rosado, Adriano Cherchiglia, Marcos Sampaio, and Brigitte Hiller. Infrared subtleties and chiral vertices at NLO: an implicit regularization analysis. *The European Physical Journal C*, 83(9):879, 2023.

# THE DEUTERON AS A SIX-QUARK STATE IN QCD

**A. Nunes<sup>1</sup>, A. Arriaga<sup>1,2</sup>, G. Eichmann<sup>1,3</sup>, M.T. Peña<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP)

<sup>2</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

<sup>3</sup> Universidade de Graz

<sup>4</sup> Instituto Superior Técnico

E-mail de contacto: [amnunes@lip.pt](mailto:amnunes@lip.pt)

## RESUMO

Hadrons are bound states of valence quarks immersed in a sea of quarks, antiquarks and gluons, whose dynamics is governed by the strong interaction. Traditionally hadrons are classified into mesons (valence quark-antiquark states) and baryons (valence three-quark states). However, recent experimental evidence suggests the existence of more complicated combinations such as tetraquarks and pentaquarks. In addition, we know that hexaquarks must exist as well: the best-known hexaquark is also the simplest non-trivial nucleus, namely the deuteron, which is made of a proton and a neutron, but simultaneously a bound state of six valence quarks within QCD. The interaction between two nucleons is the basic ingredient of nuclear physics and the empirically best-known aspect of the strong interaction. Despite this, its thorough understanding from the interactions of quarks and gluons in QCD does still not exist.

Our work explores new methods at the boundaries between hadron and nuclear physics to calculate the properties of the deuteron. The Dyson-Schwinger/Bethe-Salpeter formalism is used to derive a two-body equation, where the proton and neutron interact by exchanging quarks, a pion, a sigma meson and a diquark. This was achieved by implementing a two-body interaction between quarks of different nucleons through a scattering matrix with a pole approximation.

Although P waves are forbidden in non-relativistic Quantum Mechanics for this bound state, the results show that they have a large contribution in the deuteron amplitude. The S waves correspond to the largest contribution while D waves mostly come from the pion exchange, as expected. Neither an excited state is predicted nor a proton-proton or a neutron-neutron bound state. The diquark exchange is repulsive, decreasing the binding energy of the system.

# HEAVY BARYON EXCITATIONS USING FUNCTIONAL CALCULATIONS WITH A QUARK-DIQUARK MODEL

**A. Torcato<sup>1,2</sup>, G. Eichmann<sup>3</sup>, M. T. Peña<sup>1,2</sup>, A. Arraiga<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup> Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Lisboa, Portugal (LIP)

<sup>2</sup> Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal (IST)

<sup>3</sup> Universidade de Graz, Graz, Áustria (Uni. Graz)

<sup>4</sup> Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal (FCUL)

E-mail de contacto: [atorcato@lip.pt](mailto:atorcato@lip.pt)

## RESUMO

Apresentamos os últimos resultados para os bariões constituídos por dois quarks leves (sabores up e down) e um quark pesado (sabor charm) com  $J = 1/2$  e paridade positiva, utilizando métodos funcionais em Cromodinâmica Quântica (QCD) a baixas energias (ordem das unidades de GeV) [1]. Os bariões podem ser estudados como estados relativistas de três quarks de valência [2] utilizando métodos funcionais não-perturbativos que incidem na natureza de teoria de campo de QCD. As equações derivadas para este estado envolvem três corpos, contudo, um número de aproximações não limitantes podem ser realizadas, nomeadamente, uma interpretação dos mesmos como estados quark-diquark, onde o diquark é estado composto por dois quarks. Esta redução para um sistema acoplado de equações de dois corpos, juntamente com uma definição de interação gluónica utilizando o modelo Maris-Tandy, permite a resolução numérica das equações e obtenção de resultados característicos dos bariões em análise, nomeadamente, as suas massas, distribuição de ondas parciais e contribuição dos possíveis diquarks constituintes. As vantagens desta metodologia incluem a sua generalização e a sua capacidade de previsão, sendo possível obter estimativas para estados ainda não detetados ou detetados com dúvida substancial. As massas estimadas são obtidas por extrapolações estatísticas dos resultados numéricos obtidos, obtendo um acordo geral com os resultados experimentais existentes [3]. A análise de ondas parciais sugere uma importância não negligenciável de efeitos relativistas. Por fim, a análise à distribuição de combinações de sabores para formação dos diquarks sugere preferências a certos estados quark-diquark dentro dos possíveis permitidos para um dado barião. Aspectos a melhorar incluem uma extensão dos bariões estudados e uma análise extrapolatória mais sofisticada.

[1] A. Torcato, A. Arriaga, G. Eichmann, M. T. Peña, *Few-Body Syst.*, 64, 45 (2023)

[2] G. Eichmann, H. Sanchis-Alepuz, R. Williams, R. Alkofer, C. S. Fischer, *Baryons as relativistic three-quark bound states*, *Prog. In Part. Phys.*, 91, 1-100 (2016)

[3] R. L. Workman et al. (*Particle Data Group*), *Prog. Theor. Exp. Phys.* 2022, 083C01 (2022)

# ÓTICA E LASERS

# SUPERCONTINUUM GENERATION USING HIGHLY NONLINEAR OPTICAL FIBERS

**Mário F. S. Ferreira**

I3N – Institute of Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication.  
Department of Physics, University of Aveiro  
3810-193 Aveiro, Portugal

Email: [mfernando@ua.pt](mailto:mfernando@ua.pt)

## ABSTRACT

Nonlinear effects in optical fibers impose different limitations on the communications link, and an understanding of such effects is almost a prerequisite for actual lightwave-system designers [1]. On the other hand, they offer a variety of possibilities for all-optical signal processing [2]. Using conventional optical fibers, a length of several kilometres is usually required for these applications, due to their relatively small nonlinear parameter. However, the required fiber length can be significantly reduced using different types of some types of specialty optical fibers [3]. For example, it can be reduced to about 1km using highly nonlinear silica fibers with a smaller effective mode area, and hence, a larger nonlinear parameter. A further reduction in fiber length by one order of magnitude has been achieved in recent years using photonic crystal fibers with an extremely small effective mode area and significantly enhanced nonlinear characteristics [2,3]. Another main advance was the production of highly nonlinear fibers using materials with a nonlinear refractive index higher than that of the silica glass, namely lead silicate, tellurite, bismuth glasses and chalcogenide glasses. Using such highly nonlinear optical fibers, the required fiber length for all-optical signal processing can be dramatically reduced to the order of centimetres [2]. This talk provides an overview of such kind of optical fibers, as well as of some novel dispersive and nonlinear effects exhibited by them. A special attention will be paid to supercontinuum generation, which is one of the most impressive nonlinear phenomena that can be observed in highly nonlinear fibers. It corresponds to an extremely wide spectrum achieved by an optical pulse while propagating in a nonlinear medium, resulting from the synergy between several fundamental nonlinear processes. A supercontinuum source can find applications in the area of bio-medical optics, where it allows the improvement of longitudinal resolution in optical coherence tomography by more than an order of magnitude, in optical frequency metrology, in all

kinds of spectroscopy, in hyperspectral lidars, and as multiwavelength source in the telecommunications area.

[1] Mário F. S. Ferreira, “*Nonlinear Effects in Optical Fibers*”, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2011.

[2] Mário F. S. Ferreira, “*Optical Signal Processing in Highly Nonlinear Fibers*”, CRC Press, Abingdon, Oxon, UK, 2020.

[3] Mário F. S. Ferreira and Mukul C. Paul (Eds), “*Specialty Optical Fibers - Materials, Fabrication Technology and Applications*”, Elsevier, Cambridge, MA, USA, 2024.

# DISSIPATIVE OPTICAL SOLITONS IN ULTRAFAST PASSIVELY MODE-LOCKED FIBER LASERS

**Mário F. S. Ferreira and Sofia C. V. Latas**

I3N – Institute of Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication.  
Department of Physics, University of Aveiro  
3810-193 Aveiro, Portugal

Email: mfernando@ua.pt

## **ABSTRACT**

Conservative optical fiber solitons can propagate without distortion due to the balance between fiber nonlinearity and dispersion [1]. This kind of solitons can be used with advantage to carry binary coding optical information in soliton communications systems [1]. In contrast, dissipative solitons are the result of a double balance: between nonlinearity and dispersion and also between gain and loss [2]. A notable point is that their dynamics are much more complex than those of the conservative solitons and their unique properties make them similar to living things. We focus our discussion on dissipative solitons in optical fiber systems, namely passively mode-locked ultrafast fiber lasers, which can be described by the cubic-quintic complex Ginzburg-Landau equation [2]. Actually, ultrafast fiber lasers are considered as good platforms for exploring the dissipative solitons dynamics.

[1] Mário F. S. Ferreira, *Solitons in Optical Fiber Systems* (John Wiley & Sons, Hoboken, 2022)

[2] Mário F.S. Ferreira (Ed.), *Dissipative Optical Solitons* (Springer Nature, Switzerland AG 2022,)

# FÍSICA BIOLÓGICA



# ADHESION MODULATES CELL MIGRATION, ERYTHROCYTE MORPHOLOGY AND ENDOTHELIAL CELL DYNAMICS

**Rui Travasso<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Centro de Física da Universidade de Coimbra

E-mail de contacto: [rui.travasso@gmail.com](mailto:rui.travasso@gmail.com)

## RESUMO

One of the most fundamental abilities required for the sustainability of complex life forms is active cell migration, being essential in diverse processes from morphogenesis to leukocyte chemotaxis in immune response. The movement of a cell is the result of intricate mechanisms, that involve the coordination between mechanical forces, biochemical regulatory pathways, and environmental cues. We will present how adhesion can influence cell migration and cell morphology in different contexts. We start by exploring how adhesion and spatial restriction affect migration of a self-propelled droplet in dense fibrous media. Implementing a phase-field model, we have measured in our simulation the cell's velocity and quantified its morphology as a function of the fibre density and of its adhesiveness to the matrix fibres. We then apply the model to tackle epithelial cell basal extrusion in the context of hereditary diffuse gastric cancer. In this disease, E-cadherin-defective cells can be detected invading the adjacent stroma since very early stages. We have demonstrated that, aside from loss of cell-cell adhesion, increased matrix attachment further improves cell extrusion efficiency. Importantly, we were able to show that the cylindrical structure of gastric glands is a major factor in the cell's ability to disseminate, and that cell migration is as effective as tissue curvature allows. We then use this model to explore polarization and dynamics of endothelial cells in a blood vessel. We show that we can simulate the endothelial cell polarization and shape in a vessel by assuming that endothelial cells migrate in the blood flow direction with variable velocities. We further explore cell morphology during spouting angiogenesis. Finally, we present the alterations in red blood cell morphology resultant from erythrocyte-erythrocyte adhesion forces in the presence of fibrinogen. These forces were quantified and matched with experimental data. The changes observed on erythrocyte-erythrocyte interactions may give important insights about the pathophysiological relevance of fibrinogen and erythrocyte aggregation, since an increment on both may induce an impairment in microcirculatory blood flow.

# Microenvironment anisotropy drives cell migration and large-scale nuclear deformations – a coupled in silico and in vitro study

A. Bensabat<sup>1</sup>, M. Gouveia<sup>1</sup>, C. Leclech<sup>2</sup>, A. Barakat<sup>2</sup> and R. Travasso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CFisUC, Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Ladhyx, École Polytechnique

Active cell migration is essential in diverse processes that sustain complex life forms, from morphogenesis to leukocyte chemotaxis in immune response. Cell migration is the result of intricate mechanisms that involve the coordination between mechanical forces, biochemical regulatory pathways, and environmental cues. In this work, we use a coupled in silico and in vitro approach to explore the pivotal role played by the anisotropy of the cell microenvironment in polarizing migrating cells and guiding cell movement. With this aim, we characterize the migration of endothelial cells and myoblasts in a substrate etched with narrow parallel microgrooves. We observe that the cells migrate in the groove direction and that the cell nucleus becomes caged, i.e. fully confined, within the microgrooves. This caging remains present, albeit to a smaller extent, when the cytoskeleton of the cell is disrupted, and its dynamics is associated with the nucleus membrane stiffness.

Moreover, we explore computationally the cell morphology by implementing a phase-field model of the interaction between the cell and the microgrooved substrate. This phase-field model includes the cell-substrate adhesion as well as the stiffness of the cell membrane and the nucleus. We extend the model by including the dynamics of polymerization and depolymerization of actin inside the cell to model migration along the substrate microgrooves and to draw conclusions regarding the driving migrating mechanisms in these anisotropic microenvironments.

## References

- [1] C. Leclech, A. Krishnamurthy, L. Muller, A. I. Barakat, *Adv. Mater. Interfaces* **10** (2023) 2202421
- [2] C.S. Lopes, J. Curty, F.A. Carvalho, A. Hernández-Machado, K. Kinoshita, N.C. Santos, R.D.M. Travasso, *Communications Biology* **6** (2023) 192.
- [3] S. Melo, P. Guerreiro, M.M. Soares, J.R. Bordin, F. Carneiro, P. Carneiro, M.B. Dias, J. Carvalho, J. Figueiredo, R. Seruca, R.D.M. Travasso, *Communications Biology* **6** (2023) 1132.

# FUNCTIONALIZATION OF NANOFIBERS WITH CHIRAL CYCLODIPETIDES FOR APPLICATIONS IN NANOENERGY SOURCES

**D. Santos<sup>1,2</sup>, R. Baptista<sup>1</sup>, E. de Matos Gomes<sup>1</sup>, B. Almeida<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Centre of Physics of Minho and Porto Universities (CF-UM-UP), Laboratory for materials and Emergent Technologies (LAPMET), University of Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal

<sup>2</sup> Nanostructured Materials Group, International Iberian Nanotechnology Laboratory, Av. Mestre José Veiga s/n, 4715-330 Braga, Portugal

E-mail de contacto: id11280@alunos.uminho.pt

## RESUMO

Dipeptide-based nanomaterials have the ability to self-assemble into well-organized structures with functional properties, making them valuable in both biology and nanotechnology. Designed dipeptide building blocks self-assemble into diverse nanostructures enhancing their properties and versatility. These nanostructured dipeptide assemblies, with quantum confinement, hold promise in materials science as eco-friendly optoelectronic materials for energy harvesting, thanks to their biocompatibility, ease of fabrication, and functionalization [1].

Aromatic cyclodipeptides, especially those with tryptophan, are highly versatile nanomaterials known for their impressive properties. They can self-assemble into a range of supramolecular structures, including nanospheres, nanotubes, and nanowires, and display quantum confinement and photoluminescence. Chiral cyclodipeptides can even demonstrate piezoelectric and pyroelectric properties, offering potential applications in nanoenergy sources. These dipeptides, known for their high thermal stability and mechanical strength, are incorporated into biopolymer matrices through electrospinning to create nanofiber systems.

As such, here we report the fabrication of hybrid systems based on chiral cyclodipeptide L-Tryptophan-L-Tryptophan and cyclo-L-Tryptophan-L-Tyrosine incorporated into biopolymer electrospun fibers [2,3]. The micro/nanofibers contain self-assembled nanostructures embedded into the polymer matrix, are wide-band gap semiconductors with 4.0 eV bandgap energy, and display blue photoluminescence as well as relevant piezoelectric and pyroelectric properties. A piezoelectric nanogenerator was proposed, tested and shown to be capable of producing  $0.18 \mu\text{Wcm}^{-2}$  of power density and have a piezoelectric coefficient of  $57 \text{ pCN}^{-1}$  for Cyclo(L-Trp-L-Trp) embedded into PLLA. Therefore, the fabricated hybrid mats are promising systems for future thermal sensing and energy harvesting applications [2].

# FÍSICA MÉDICA

# OTIMIZAÇÃO DE IMAGENS MRI 3T PARA RADIOCIRURGIA COM RECURSO A SOLUÇÃO NÃO COMERCIAL DE FANTOMA E SOFTWARE DE ANÁLISE

**B. Campilho<sup>1</sup>, S. Silva<sup>2,3</sup>, S. Pinto<sup>2,4</sup>, P. Conde<sup>2,5</sup>, J. Lencart<sup>2,4</sup>, B. Mendes<sup>2</sup>, J.A.M. Santos<sup>2,4,6</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física e Astronomia, FCUP, Porto, Portugal; <sup>2</sup> Grupo de Física Médica, Radiobiologia e Proteção Radiológica, Centro de Investigação do IPO Porto, Portugal; <sup>3</sup> Serviço de Física Médica, IPO Coimbra, Portugal; <sup>4</sup> Serviço de Física Médica, IPO Porto, Portugal; <sup>5</sup> Serviço de Radioterapia, IPO Porto, Portugal; <sup>6</sup> Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto, Portugal. E-mail de contacto: [sara.pinto@ipoporto.min-saude.pt](mailto:sara.pinto@ipoporto.min-saude.pt)

## RESUMO

A Imagem por Ressonância Magnética (MRI) é uma ferramenta essencial em oncologia e radioterapia, quer para diagnóstico, quer para planeamento dos tratamentos, em particular de pequenas metástases cerebrais por meio das técnicas de radiocirurgia (ou *stereotactic radiosurgery*, SRS) [1]. A radioterapia é elaborada usando imagens de tomografia computadorizada (CT) do doente, mas uma sequência de MRI 3D FSPGR (*Fast Spoiled Gradient Echo*), ponderada em T1, é habitualmente usada para visualizar as metástases a tratar. A distorção geométrica presente nas imagens MRI 3T, quando superior a 1 mm, compromete a correta localização das metástases [1]. Para corrigir este problema, recorre-se a fantasmas para mapear as distorções no *field-of-view* do scanner, e a técnicas de correção das imagens ou de melhoria da própria sequência de aquisição MRI. Neste trabalho, foi construído um fantoma de estrutura acrílica geométrica e enchimento líquido (Fig.1). O fantoma contém 840 cavidades preenchidas com uma dissolução de ácido gadotérico (Dotarem®), escolhido após estudo preliminar com enchimentos referidos na literatura [2]. As cavidades, envoltas na estrutura de acrílico, funcionam como fiduciais cuja posição na MRI é comparada com a correspondente posição na CT. As diferenças de posição constituem as medidas de distorção. Um software foi desenvolvido para registar a MRI com a CT, detetar os fiduciais e calcular as diferenças de posição. Finalmente, foram alterados diferentes parâmetros na sequência 3D FSPGR, para reduzir a distorção sem comprometer a qualidade da imagem. Um segundo software determinou a melhor combinação de parâmetros. Foi encontrada uma sequência (“Teste 13”) cuja distorção média é significativamente inferior à do protocolo 3D FSPGR (0.725 mm contra 1.301 mm) (Fig.2). Conclui-se que o uso combinado do fantoma geométrico e de uma sequência de aquisição otimizada reduz as distorções e poderá significar uma melhoria na administração dos tratamentos de radiocirurgia.

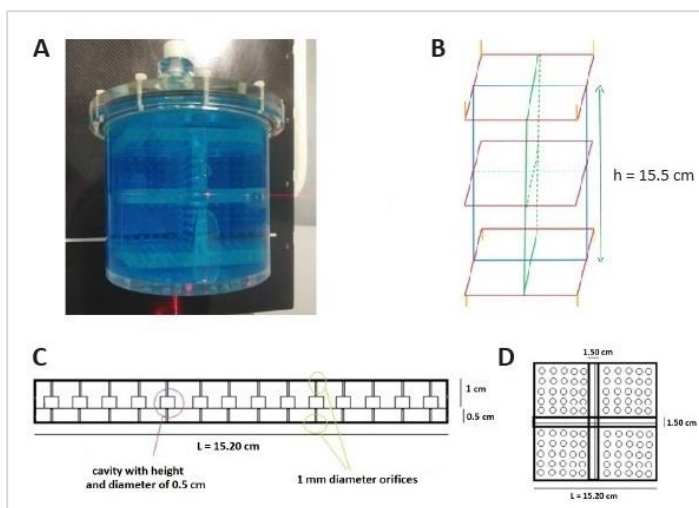


Figura 1: A, fotografia do fantoma geométrico, composto por recipiente cilíndrico com tampa hermética, insert acrílico com orifícios, e enchimento líquido; B, esquema do insert acrílico, composto por 6 placas retangulares dispostas em planos ortogonais; C, esquema dos orifícios (cavidades) em cada placa acrílica (vista frontal); D, placa acrílica vista de cima.

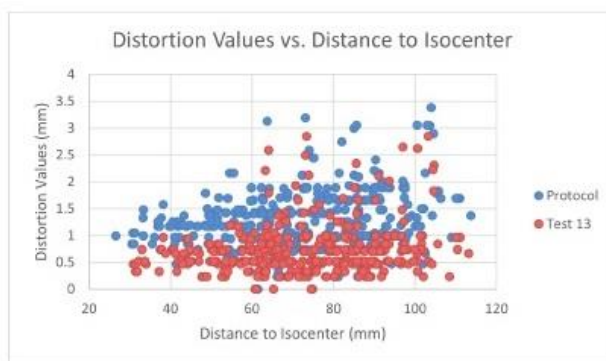


Figura 2: Resultados da distorção em cada fiducial do fantoma vs distância ao isocentro; pontos a azul, sequência de Protocolo (3D FSPGR); pontos a vermelho, sequência otimizada (“Teste 13”).

- [1] Paulson E et al., Consensus opinion on mri simulation for external beam radiation treatment planning. *Radiotherapy and Oncology*, 121, 11 2016. (doi: 10.1016/j.radonc.2016.09.018)
- [2] Keenan KE et al. Quantitative magnetic resonance imaging phantoms: a review and the need for a system phantom. *Magnetic resonance in medicine*, 79(1):48–61, 2018. (doi: 10.1002/mrm.26982)

# CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE E COMPLEXIDADE DE PLANOS DE RADIOTERAPIA PARA A PATOLOGIA DE PRÓSTATA RUMO AO PLANEAMENTO AUTOMÁTICO

**R. Lobão<sup>1</sup>, T. Ventura<sup>2</sup>, T. Santos<sup>2</sup>, M.C. Lopes<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Serviço de Física Médica, IPO Coimbra, Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: tiagoventura@ipocoimbra.min-saude.pt

## RESUMO

Com o aumento de técnicas avançadas de radioterapia, nomeadamente a radioterapia de intensidade modulada e a arcoterapia volumétrica modulada (VMAT), têm vindo a ser obtidos planos de tratamento mais conformais e com maior poupança dos órgãos de risco. Todavia, o planeamento dosimétrico é um processo complexo, laborioso e demorado e depende da destreza e experiência do planeador. Estas desvantagens podem ser superadas com a implementação de plataformas de planeamento automático. Um passo importante na configuração dessas ferramentas é a caracterização da qualidade e complexidade dos planos de tratamento produzidos localmente.

Este projeto teve como principal objetivo estabelecer uma base de dados para a configuração de uma plataforma de planeamento automático, RapidPlan, disponível no sistema de planeamento Eclipse. Desta forma, foram selecionados planos VMAT de doentes com cancro da próstata, tratados num acelerador linear Halcyon, desde a sua instalação, em junho de 2021, até dezembro de 2023. Para avaliar a qualidade dos planos, a ferramenta SPIDERplan [1], desenvolvida no IPO Coimbra, foi configurada de acordo com as preferências clínicas dos radioncologistas. A sua apresentação gráfica foi igualmente melhorada e um novo módulo de análise estatística implementado. Quanto à complexidade dos planos foram calculadas várias métricas propostas na literatura [2-5], nomeadamente o número de unidades monitoras por fração de dose (MUd), o Small Aperture Score (SAS) [2] para um critério de 10mm, o Modulation Index (MI) [3] e a Aperture Area Variability (AAV) [4]. Os módulos de análise da qualidade e de complexidade dos planos foram integrados numa plataforma eletrónica denominada qualComp. Esta plataforma permite o cálculo automático da qualidade e da complexidade de cada novo plano, bem como a sua comparação gráfica com os planos existentes. De maneira abrangente e dinâmica, a qualComp permite, por exemplo, identificar planos com excesso de modulação, sem que isso corresponda a uma melhoria de qualidade.

No período considerado, o estudo retrospectivo mostrou uma redução constante na complexidade, que estabilizou após o plateau da curva de aprendizagem de planeamento, no Eclipse, ter sido atingido e terem sido introduzidas normas de planeamento, tendentes à uniformização das práticas. Verificou-se ainda, que a qualidade dos planos não foi afetada pela redução da complexidade dos mesmos.

De um modo geral, a caracterização automática da qualidade e da complexidade dos planos permite a padronização de soluções de otimização do planeamento dosimétrico e abre caminho para a configuração e validação de soluções de planeamento automático.

[1] Ventura T, Lopes MD, Ferreira BC, Khouri L, Reports of Practical Oncology and Radiotherapy, 21(6), 508-516 (2016)

[2] Crowe SB, Kairn T, Kenny J, Knight RT, B Hill, Langton CM, Trapp JV, Physical and Engineering Sciences in Medicine, 37(3), 475-82 (2014)

[3] Park JM, Park S-Y, Kim H, Kim JH, Carlson J, Ye S-J, Physics in Medicine and Biology, 59(23), 7315-40 (2014)

[4] Masi L, Doro R, Favuzza V, Cipressi S, Livi I, Medical Physics, 40(7), 071718 (2013)



# DEEP LEARNING-BASED AUTOMATED APPLICATOR RECONSTRUCTION IN CERVICAL CANCER BRACHYTHERAPY

**B. M. Fernandes<sup>1,2</sup>, I. Androulakis<sup>1</sup>, A. Zolnay<sup>1</sup>, I. K. Kolkman-Deurloo<sup>1</sup>, B. C. Ferreira<sup>2</sup>, T. van Walsum<sup>3</sup>, B. Heijmen<sup>1</sup>, L. Rossi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Erasmus MC Cancer Institute, Department of Radiotherapy, Erasmus University Medical Center, Rotterdam, The Netherlands

<sup>2</sup> Department of Physics, Faculty of Sciences of the University of Lisbon, Lisbon, Portugal

<sup>3</sup> Department of Radiology & Nuclear Medicine, Erasmus University Medical Center, Rotterdam, The Netherlands

E-mail de contacto: [b.fernandes@erasmusmc.nl](mailto:b.fernandes@erasmusmc.nl)

## RESUMO

Worldwide standard treatment for locally advanced cervical cancer is concomitant chemotherapy and external beam radiotherapy followed by image-guided adaptive brachytherapy (IGBT) [1]. IGBT for cervical cancer starts with the implantation of an applicator and needles in the vaginal cavity of the patient, where a radioactive source travels inside the applicator and needle channels and stops at specific positions (dwell positions) to irradiate the target area. An MRI is acquired and used for treatment planning, consisting of target and organs-at-risk contouring, applicator and needles source path reconstruction, and dose optimization. Treatment planning is done while the patient is waiting with the implant on, and thus reducing the time between implantation and treatment delivery is important. In clinical practice, applicator source path reconstruction involves the manual reconstruction of the applicator based on a three-dimensional model. This task is labor-intensive and time-consuming, taking a median time of approximately 75 minutes [2]. The goal of this study is to develop a procedure for automated applicator reconstruction for cervical brachytherapy treatment.

Clinical data from 49 treatment plans were included in the study, consisting of MRI and applicator reconstruction DICOM files. Deep Learning-based automated applicator reconstruction was developed in a two-step approach, (a) *automatic segmentation* of the applicator, and (b) *automatic registration* of the applicator model to the corresponding segmentation. Automatic segmentation was done using a 3D full-resolution nnU-Net [3], with training and testing sets of 40 and 9 plans, respectively. Automatic registration of the applicator was performed on the 9 testing plans using the Thin-plate Spline approach [4]. System performance was evaluated using the Dice Similarity Coefficient (DSC) and the 95% Hausdorff Distance (HD95) between the automatically and manually reconstructed applicators for the 9 testing plans. Dwell position errors were also calculated by determining

the Euclidean distance between the automatically reconstructed applicator dwell positions and the treatment plan dwell positions. The system was developed in Python 3.8.10. and dwell position errors were calculated in Matlab R2021b.

The system resulted in a DSC of  $0.90 \pm 0.15$ , a HD95 of  $0.92 \pm 0.43$  mm, and dwell position errors of  $1.45 \pm 0.79$  mm.

We have developed a system for automatic applicator reconstruction in cervical cancer brachytherapy. Results suggest the viability of the system, making it clinically feasible. The implementation of this automated system minimizes the manual labor involved in applicator reconstruction, thereby decreasing the overall procedure time. This reduction in procedure time can lead to less discomfort for the patient. Other registration methods will be tested, and more data will be included in following work.

[1] Pötter et al., *Clinical and Translational Radiation Oncology*, 9, 48-60 (2018)

[2] Van Vliet-Pérez et al., *Brachytherapy*, 23, 274-281 (2024)

[3] Isensee et al., *Nature Methods*, 18, 203–211 (2020)

[4] Bookstein, *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, 11, 567-585 (1989)

# SIMULAÇÃO DOSIMÉTRICA DE RADIOTERAPIA COMBINADA COM COMPOSTOS DE BORO PARA TERAPIA COM PROTÕES

**B.C. Alves<sup>1,2,6</sup>, A. Belchior<sup>2,4</sup>, T. Pinheiro<sup>3,4</sup>, C. Viñas<sup>5</sup>, F. Teixeira<sup>5</sup>, F. Marques<sup>2,4</sup>, J.M., Sampaio<sup>1,6,\*</sup>**

<sup>1</sup>FCUL -Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>C2TN - Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

<sup>3</sup>iBB – Instituto de Bioengenharia e Biociências, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

<sup>4</sup>Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

<sup>5</sup>Institut de Ciència de Materials de Barcelona (C.S.I.C.) Campus U.A.B. Barcelona, Spain

<sup>6</sup>LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Lisboa, Portugal

E-mail de contacto: fc60491@alunos.fc.ul.pt

## RESUMO

A redução significativa da dose integral administrada aos pacientes tem tornado a utilização de feixes de protões uma opção atrativa no tratamento de certos tipos de cancro. Este benefício mantém-se, mesmo quando esta técnica é comparada com outras técnicas de tratamento com fótões, tais como radioterapia de intensidade modulada. No entanto, ainda existe espaço para tornar a terapia com protões mais eficiente em termos de entrega de dose e morte celular. Recentemente, a reação nuclear entre protões de baixa energia e  $^{11}\text{B}$  foi proposta como uma nova técnica (PBCT, do inglês, *proton-boron capture therapy*) capaz de aumentar a eficiência biológica da radiação. Esta reação,  $^{11}\text{B}(p, \alpha)\alpha$ , apresenta uma ressonância larga a 675 keV que gera 3 partículas alfa com energias de 2.7 MeV e 3.4 MeV. As partículas alfa, devido ao seu LET elevado, podem aumentar os danos no DNA, com consequências deletérias nas células tumorais [1].

Neste estudo, foi simulada, usando o programa de Monte Carlo TOPAS, a dosimetria a nível celular num modelo realístico de células U87. Estas células foram radiosensibilizadas com um composto de boro, FESAN, e irradiadas com protões no acelerador *Van de Graaff* de 2.5 MV no CTN/IST. Estes compostos não são tóxicos para as células, mas após

irradiação apresentam um efeito radiosensibilizador com um aumento significativo de lesões no DNA e morte celular [1-2].

Em primeiro lugar foram estudadas as condições de ressonância ao nível da camada de células para as condições específicas da nossa montagem de irradiação. De seguida, reduziu-se a escala da simulação até ao nível celular de forma a compreender a distribuição de dose e o seu aumento, tendo em consideração a localização célula no poço. Uma vez que o TOPAS não inclui a secção eficaz de captura do protão pelo boro abaixo de 1 MeV, foi desenvolvida uma metodologia, tendo por base os dados experimentais existentes na literatura [3], que calcula os rendimentos de alfas produzidos nas energias próximas à ressonância. Esta metodologia será apresentada e os resultados dosimétricos obtidos serão discutidos à luz dos resultados biológicos obtidos experimentalmente.

[1] T. Pinheiro, L.C. Alves et al., EPJ Techn Instrum, 10, 5 (2023).

[2] M. Nuez-Martínez et al., J. Mater. Chem. B, 10, 9794 (2022).

[3] M.H. Sikora, H.R. Weller, J Fusion Energ, 35, 538-543 (2016).

X Oral

Poster

# INCERTEZAS NA RADIOSSENSIBILIDADE: QUAL O IMPACTO NO RESULTADO DOS TRATAMENTOS DE RADIOTERAPIA?

**B. Pereira<sup>1</sup>, P. Batista<sup>1</sup>, M. V. Gamboa<sup>1</sup>, E. Alevronta<sup>2,3</sup>, J. Dias<sup>4</sup>, H. Rocha<sup>5</sup>, B. Ferreira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> Instituto Biofísica e Engenharia Biomédica (IBEB), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

<sup>3</sup> Medical Physics Unit, 2nd Department of Radiology, Attikon University Hospital, School of Medicine, National and Kapodistrian University of Athens, Athens, Greece

<sup>4</sup> Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, INESC, Coimbra.

<sup>5</sup> Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, CeBER, Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: [blpereira@lip.pt](mailto:blpereira@lip.pt)

## RESUMO

**Introdução:** Em radioterapia, as incertezas, associadas aos parâmetros dos modelos de dose-resposta à radiação, apresentam-se como uma das principais limitações à implementação clínica da otimização biológica do planeamento de tratamentos. Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto das incertezas da radiosensibilidade nos resultados do tratamento de pacientes com cancro pancreático localmente avançado sujeitos a radioterapia.

**Materiais e métodos:** Foi considerado um caso de cancro pancreático [1] para o qual foram calculados dois planos de tratamento utilizando o sistema de planeamento matRad [2]. O primeiro plano de radioterapia de intensidade modulada foi otimizado considerando unicamente objetivos baseados em parâmetros dosimétricos (otimização física, com dose de prescrição de 50.4 Gy/28 frações). O segundo plano foi biologicamente otimizado considerando a maximização da probabilidade de controlo tumoral sem complicações,  $P+$  ( $P+ = TCP - NTCP$ ,  $TCP$  é a probabilidade de controlo tumoral e  $NTCP$ , a probabilidade de complicações). A avaliação do impacto das incertezas da radiosensibilidade recorreu a simulação de Monte Carlo, desenvolvido em MATLAB v2023. Foi considerado o modelo Poisson-Linear-Quadrático juntamente com o modelo Seriality [3] e foi assumido uma incerteza de 5% para os seus parâmetros relativamente aos reportados na literatura para esta patologia e respetivos órgãos de risco (estômago/duodeno, intestino, rins, baço, fígado e medula espinhal). Foram construídos 1000 cenários, cada um tendo por base um conjunto de valores para os parâmetros do modelo, gerados de forma aleatória. A qualidade dos planos foi quantificada pela mediana dos histogramas obtidos para  $P+$ ,  $TCP$  e  $NTCP$  e a robustez destes foi quantificada pelo desvio padrão desses histogramas.

**Resultados:** Considerando uma incerteza de 5% em cada parâmetro dos modelos de dose-resposta, as medianas de P+ para os planos fisicamente e biologicamente otimizados foram  $0.880\pm 0.003$  e  $0.958\pm 0.001$ , respetivamente; as medianas para o TCP total foram  $0.965\pm 0.003$  e  $0.982\pm 0.001$  e para o NTCP total foram  $0.066\pm 0.001$  e  $0.019\pm 0.001$ , respetivamente. O impacto das incertezas dos parâmetros dos modelos no NTCP de cada órgão de risco foi apenas importante para o intestino delgado e baço cujos valores de NTCP variam entre 0 e 0.15, sendo que para os restantes não foram obtidas diferenças clinicamente significativas.

**Conclusão:** O plano biologicamente otimizado resulta num plano com maior qualidade devido a uma melhoria no TCP e uma poupança significativa dos órgãos de risco comparativamente ao plano fisicamente otimizado. O plano biológico mostrou ser mais robusto, i.e., mais insensível às incertezas dos parâmetros de dose resposta, do que o plano fisicamente otimizado o que resultará numa maior variabilidade de resultados terapêuticos do que os obtidas com o plano biológico.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia – FCT no âmbito do Programa Estratégico UIDB/00645/2020; DOI: <https://doi.org/10.54499/UIDB/00645/2020>

- [1] X. Han et al., “Deep-learning-based image registration and automatic segmentation of organs-at-risk in cone-beam CT scans from high-dose radiation treatment of pancreatic cancer”, *Med Phys.*, 48(6):3084–3095 (2021)
- [2] Wieser H-P, Cisternas E, Wahl N, et al., “Development of the open- source dose calculation and optimization toolkit matRad”, *Med Phys.*, 44(6):2556-2568 (2017)
- [3] Källman P, Agren A, Brahme A. “Tumour and normal tissue responses to fractionated non-uniform dose delivery”, *Int J Radiat Biol.*, 62:249–262 (1992)

# PRECLINICAL TESTS USING PRODOSE IN VIVO DOSIMETRY SYSTEM IN HIGH DOSE RATE BRACHYTHERAPY

**M. Batalha<sup>1</sup>, C. Alves<sup>2</sup>, T. Ventura<sup>2</sup>, C. Sousa<sup>3</sup>, J. F. Borges<sup>3</sup>, M. do Carmo Lopes<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Medical Physics Department, Portuguese Institute of Oncology of Coimbra Francisco Gentil, E.P.E., Portugal

<sup>3</sup> NU-RISE SA, Ílhavo, Portugal

E-mail de contacto: marianabatalha05@gmail.com

## **ABSTRACT**

**Purpose/Objective:** High dose rate (HDR) brachytherapy treatments involve several procedural steps that can lead to potential deviations between the planned and the delivered dose. To detect these deviations during treatment (in vivo dosimetry, IVD), devices with specific characteristics to act as good in-vivo dosimeters are required. The aim of this study is to assess the suitability of the NU-RISE PRODOSE prototype for IVD by characterising its physical and dosimetric properties and by performing preclinical tests on a prostate phantom.

**Materials/Methods:** An HDR afterloader with a <sup>192</sup>Ir radioactive source (Flexitron from Elekta) was used. Three plastic scintillator detectors (PSD) available in the PRODOSE prototype were tested.

For the physical and dosimetric characterisation, each PSD was calibrated in a PMMA phantom using the Oncentra Brachy Treatment Planning System (TPS) version 4.6.0.16 dose calculation as a reference. Dose linearity was assessed from 1 Gy to 20 Gy, and dose rate ( $S_k$ ) dependence was tested by repeating the irradiation of each probe along the half-life of the radioactive source. Angular dependence was tested in the transverse plane of each PSD using a PMMA phantom submerged in water. The PSD were irradiated at a fixed radial distance and at varying angles. The time resolution was measured by positioning the PSD inside metal needles, held in position by a rigid template grid, also submerged in water. Each scintillator was irradiated at fixed positions with varying dwell times. Spatial resolution was measured by changing the alignment of the source relative to the PSD in 0.25 mm steps.

For the preclinical testing, a prostate phantom was used to simulate a HDR brachytherapy treatment with 5 implanted catheters. The PSD was positioned using an extra metal needle during the irradiation. MATLAB version R2023b was used to process the DICOM RT Plan file exported from the TPS and to calculate the dose

rate according to the TG43 formalism. These dose files were compared with the processed measurements from the PRODOSE prototype.

Results: The PRODOSE prototype has a linear response ( $R^2 \approx 0.99987$ ) that is not influenced by the source  $S_k$  value nor by the distance to the radioactive source. The measured angular dependence was  $(2.8 \pm 1.8) \%$  ( $k=1$ ). A time and spatial resolution of 0.2 s and 1 mm, respectively, were found. An absolute dose calibration factor for each probe was derived as the slope of the linearity graph with a total combined uncertainty of 5.1%.

For the preclinical test, the measured total dose differed from the calculated dose on the TPS less than 3%. The measured average dose rate for all dwell positions deviated from the planned dose rate by  $(4.00 \pm 4.45) \%$  ( $k=1$ ). The difference between planned and measured dwell times when simulating a HDR brachytherapy treatment was less than 1%. The irradiation profile measured for each catheter was correctly detected by the PRODOSE prototype.

Conclusion: The PRODOSE prototype demonstrated promising potential for real time verification of treatment delivery quality in HDR brachytherapy, due to its physical and dosimetric properties and preclinical tests performance.



# MULHER E MÃE ENQUANTO PROFISSIONAL EXPOSTA A RADIAÇÕES NO SÉCULO XXI

**H. Vasconcelos<sup>1,2,\*</sup>, M. Meirelles<sup>1,3</sup>, S. Costa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade dos Açores (FCT – UAc), 9500 – 321 Ponta Delgada, Açores, Portugal

<sup>2</sup> Laboratório de Instrumentação, Engenharia Biomédica e Física da Radiação (LIBPhys – UNL), Departamento de Física, FCT – NOVA, Universidade de Lisboa, 2829 – 516 Caparica, Portugal

<sup>3</sup> Instituto de Investigação em Ciências do Mar da Universidade dos Açores (OKEANOS), Faial, Açores, 9901 – 862 Horta, Portugal

\* E-mail de contacto: [helena.cs.vasconcelos@uac.pt](mailto:helena.cs.vasconcelos@uac.pt)

## RESUMO

A radiação ionizante oferece uma ampla gama de benefícios diretos e indiretos aos seres humanos. Nos benefícios diretos salientam-se os diagnósticos médicos avançados ou o tratamento de algumas patologias. O avanço tecnológico e científico permitiu progressos significativos na prática médica, especialmente nas áreas da Radiologia, Medicina Nuclear, Radioterapia e outras especialidades relacionadas com a saúde. Dependendo dos procedimentos realizados e das fontes radioativas utilizadas, os trabalhadores médicos recebem doses de radiação significativas do ponto de vista da proteção radiológica [1,2]. O aumento do uso de radiação ionizante para fins de diagnóstico, especialmente a tomografia computadorizada, pode aumentar o risco de ocorrência de câncer no futuro [3]. Para mitigar esses riscos e maximizar os benefícios, é essencial compreender e quantificar os potenciais impactos da radiação na saúde [4].

Neste contexto, a responsabilidade pela proteção e monitorização dos profissionais expostos a radiações recai sobre as Organizações de Saúde. Estas organizações têm como objetivo assegurar que os valores das doses limites não sejam ultrapassadas, garantir a monitorização dos profissionais através de dosímetros e fornecer os equipamentos de proteção individual necessários para o desempenho das suas funções. Também, promovem a formação contínua de todos os profissionais envolvidos neste campo de atividade.

O objetivo deste estudo é avaliar o nível de conhecimento em relação às práticas, normas e métodos de proteção contra radiações ionizantes, enquanto se pretende compreender o potencial impacto destas exposições na vida das mulheres, que desempenham papéis duplos como mães e profissionais de saúde, estando sujeitas a radiações ionizantes no seu ambiente de trabalho. Para atingir este objetivo, foi realizada uma pesquisa que envolveu uma amostra de 50 profissionais do

sexo feminino, nomeadamente médicas, enfermeiras, técnicas superiores de diagnóstico e terapêutica, assistentes operacionais, físicas, assistentes de medicina dentária e assistentes técnicas, com idades compreendidas entre os 19 e os 62 anos, que são expostas a radiações ionizantes. Estas profissionais desempenham as suas funções nas áreas de Radiologia, Medicina Nuclear, Radioterapia e Medicina Dentária, em hospitais, unidades de saúde e clínicas localizadas na Região Autónoma dos Açores. Através desta pesquisa, pretendeu-se compreender a profundidade dos conhecimentos e da consciência sobre práticas de segurança, bem como analisar como estas exposições podem afetar a vida e o desempenho destas mulheres, tanto no âmbito profissional quanto no papel fundamental de serem mães. Às respostas ao questionário foi feita uma análise estatística retirando conclusões.

Verificamos através desta análise que os fatores idade e formação não revelam diferenças significativas no conhecimento das profissionais sobre as práticas, normas e métodos de proteção contra radiações ionizantes. De modo geral, as profissionais sem formação demonstraram ter alguns conhecimentos e noções sobre a temática face às radiações ionizantes. Em relação ao uso do equipamento de proteção individual (EPI), verificamos que os trabalhadores dão mais importância ao uso do avental de chumbo por ser este o EPI mais utilizado pelas profissionais aquando exercem as suas funções em exposição às radiações ionizantes. Também averiguamos que as mulheres quando se encontram em período de gravidez, sabem que cuidados devem ter ao exercer as suas funções.

[1] <https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases>

[2] Seltenrich, N. Between extremes: health effects of heat and cold. *Environ. Health Perspect.* 123 (11), A275–A280. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A275> (2015).

[3] Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 386 (9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114) (2015).

[4] Ayoob, R., Mahdi G., Ali H., Mohammad S., Sohrab I., Ali M., Yousef P., Elham R., Reza H., Ali O., Mehdi F. and P.U. Nguyen. Investigating the impact of air pollution and temperature changes on emergency admissions (cardiovascular + respiratory) disease in the city of Bojnord, northeastern Iran. *Heliyon* 10 (7), (2024) e27900.

# FÍSICA APLICADA

- [1] Tao, K., Fan, Z., Sun, L. et al. Quantum confined peptide assemblies with tunable visible to near-infrared spectral range. *Nat Commun* 9, 3217 (2018).
- [2] Santos, D.; Baptista, R.M.F.; Handa, A.; Almeida, B.; Rodrigues, P.V.; Torres, A.R.; Machado, A.; Belsley, M.; de Matos Gomes, E., Bioinspired Cyclic Dipeptide Functionalized Nanofibers for Thermal Sensing and Energy Harvesting, *Materials*, 16, 2477 (2023)
- [3] Santos, D.; Baptista, R.M.F.; Handa, A.; Almeida, B.; Rodrigues, P.V.; Castro, C.; Machado, A.; Rodrigues, M.J.L.F.; Belsley, M.; de Matos Gomes, E., Nanostructured Electrospun Fibers with Self-Assembled Cyclo-L-Tryptophan-L-Tyrosine Dipeptide as Piezoelectric Materials and Optical Second Harmonic Generators, *Materials*, 16, 4993 (2023)

# PROBING RADIO WAVES AT THE ISEL CAMPUS

**N. Santos<sup>1</sup>, A. Casaca<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Arsenal do Alfeite S. A.

<sup>2</sup> Departamento de Física, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

<sup>3</sup> Centro de Física Teórica e Computacional, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

E-mail de contacto: [antonio.casaca@isel.pt](mailto:antonio.casaca@isel.pt)

## RESUMO

Radio waves are ubiquitous in the urban environment, inside and outside buildings, the main sources being nowadays cell phones, antennas for mobile communications and Wi-Fi antennas. In this work, we report on the electromagnetic radiation levels at the ISEL campus evaluated in July 2020, in the context of the COVID-19 pandemic; the electric field intensity was measured at several sites inside the campus, with an isotropic probe, in the frequency range 100 kHz – 3 GHz. The results show that, in general, the radiation levels are larger at sites with line of sight (LOS) to base station antennas (4G) when compared to sites with LOS to Wi-Fi antennas; the measured intensities depend strongly not only on the distance to the antennas, but also on the relative position of a site with respect to the antennas' axis and orientation, following the antennas' radiation patterns. The overall measurements are well below the recommended maximum exposure levels by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).

# MUOGRAFIA EM MEIO URBANO – CASO PRÁTICO DO TÚNEL DE DRENAGEM MONSANTO – SANTA APOLÓNIA

**F. Ferreira<sup>1,2</sup>, S. Andringa<sup>2</sup>, B. Tomé<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física do Instituto Superior Técnico

<sup>2</sup> Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

E-mail de contacto: [francisco.manuel.ferreira@tecnico.ulisboa.pt](mailto:francisco.manuel.ferreira@tecnico.ulisboa.pt)

## RESUMO

A tomografia muónica (ou simplesmente muografia) é uma técnica não invasiva com grande potencial para uso em ambientes urbanos, pois proporciona uma visão ascendente sem precedentes dos espaços escondidos por baixo das nossas cidades. Funciona de forma semelhante a uma radiografia da cidade, aproveitando a fonte natural de muões originados na interação de raios cósmicos com a atmosfera. À superfície chegam cerca de 10000 muões por metro quadrado e por minuto, com uma distribuição de energias e dependência angular bem conhecidas [1].

Estes muões possuem grandes energias que vão perdendo lentamente, podendo atravessar a atmosfera, estruturas construídas pelo ser humano e até atingir vários metros de profundidade abaixo do solo. O telescópio de muões localizado por baixo do local em estudo regista o número de muões e as suas trajetórias. Ao procurar alterações no fluxo de muões, originadas pela sua interação com a matéria, a tomografia muónica consegue identificar a forma e densidade das estruturas atravessadas.

Em ambientes urbanos, a muografia tem sido utilizada na investigação de defeitos que podem afetar a integridade estrutural de grandes infraestruturas (como pontes), bem como na monitorização do alinhamento estrutural de edifícios históricos. Também tem sido utilizada em túneis ferroviários, quer para identificar e vedar os abandonados poços verticais utilizados na sua construção, quer a bordo das tuneladoras durante a sua construção, de forma a monitorizar a variabilidade natural das características geológicas e as instabilidades induzidas pelo processo de perfuração [2].

Este trabalho centra-se no estudo da possibilidade de utilização da muografia ao longo do túnel de drenagem atualmente em construção entre Monsanto e Santa Apolónia no âmbito do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, atravessando vários bairros da cidade. Uma vez que o túnel de drenagem permite a instalação do telescópio e cruza diferentes formações geológicas, fornece a possibilidade de obter um perfil longitudinal de Lisboa, permitindo estudar as propriedades do solo e das estruturas superficiais e subterrâneas.

Assim, os principais objetivos deste estudo incluem determinar que tipo de estruturas naturais e artificiais existem no trajeto do túnel de drenagem e quais são possíveis de detetar, estimando a escala de tempo necessária para a aquisição de dados, a fim de fornecer significância estatística suficiente para apontar a existência desses objetos.

[1] L. N. Bogdanova, M. G. Gavrilov, V. Kornoukhov, A. S. Starostin. Cosmic muon flux at shallow depths underground, *Physics of Atomic Nuclei*, Volume 69, páginas 1293–1298 (2006).

[2] Internacional Atomic Energy Agency, Muon Imaging - Present Status and Emerging Applications, IAEA-TECDOC-2012, páginas 19-29 (2022).

# EXPLORING COPPER SOLUTIONS FOR ARTIFICIAL SYNAPSES

**A. V. Silva<sup>1</sup>, A. T. Brandão<sup>2</sup>, C. M. Pereira<sup>2</sup>, J. Ventura<sup>1</sup>, C. Dias<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> IFIMUP, Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal

<sup>2</sup> CIQUP, Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Portugal

E-mail de contacto: andrea.silva@fc.up.pt

## RESUMO

The miniaturization of electronic components has increased exponentially in the past years, leading to its limits regarding Moore's law. In consequence, new forms of computing have emerged, such as neuromorphic computing<sup>1</sup>. Neuromorphic computing is brain inspired, meaning that its aim is to emulate how the complex networks of neurons and synapses work. For that, key electronic components are needed, with memristors being the main candidates. Memristors are electronic devices that possess resistive switching (RS), a behavior that emulates synaptic dynamics<sup>1</sup>. Liquid-based memristors seem to be advantageous because they present RS with low to ultralow power consumption, easiness and cheapness of production, flexibility, and adaptability<sup>2</sup>. So, here, we propose the study of different liquid memristors based on different solutions and configurations for the fabrication of neuromorphic computing hardware. The vertical RS devices were composed of a copper (Cu) bottom electrode, a top electrode, and a solution in between. The top electrode material and electrode spacing were studied. Furthermore, two solutions were tested: CuSO<sub>4</sub> dissolved in water and in glyceline. Their concentrations were varied for performance assessment. Finally, a planar configuration of the device was also tested for different electrode materials and spacing. The emulation of synaptic behavior in the devices was attained under low voltages. Furthermore, by using liquids, advantages such as adaptability and flexibility arise, with the addition of different temporal order behaviors being obtained with the change in solvent.

[1] Q. Wan et al., *Adv. Mater. Technol.*, 4(4), 1–34 (2019).

[2] D. Kim et al., *Nanoscale*, 11, 9726-9732 (2019).

## AGRADECIMENTOS

We thank FCT and IFIMUP, through projects PTDC/NANMAT/4093/2021, UIDB/04968/2020 and UIDP/04968/2020, and “la Caixa” Foundation within project CCO 204197.



# X-RAY COMPOSITIONAL MICROANALYSIS AND X-RAY DIFFRACTION OF HALTERN 70 AMPHORAE SHERDS

**Daniel Pinheiro<sup>1</sup>, Mauro Guerra<sup>1</sup>, António J.M. Silva<sup>2</sup> and Benilde F.O. Costa<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Laboratory of Instrumentation, Biomedical Engineering and Radiation Physics (LIBPhys-UNL), Department of Physics, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, 2829-516 Caparica, Portugal

<sup>2</sup>University of Madeira, School of Technologies and Management, CITUR, 9020-105, Funchal, Portugal

<sup>3</sup> University of Coimbra, CFisUC, Physics Department, Rua Larga, 3004-516 Coimbra, Portugal

E-mail de contacto: benilde@uc.pt

## **RESUMO**

Haltern 70 amphorae were produced since the end of the Roman Republic or, perhaps, only during the early imperial period, being not documented after the Flavian dynasty. It had been founded in consumption contexts of several areas of the Western Empire. However, it is in the NW of the Iberian Peninsula where this class is better documented, representing close to 80% of the amphorae recovered in archaeological sites of the Roman period. The provenance of this amphora's class found in consumption contexts from the NW of the Iberian Peninsula and other provinces of the Empire continue to be uncertain today, even if most scholars consider the Guadalquivir Valley as the main supplier. This paper presents the results of an archaeometric study of the largest assemblage of the Haltern 70 type. It was recovered in 2004/2005 at Castro do Vieito, during an extensive dig, directed by one of us (AJMS). The strategy adopted consists in comparing XRF and XRD analysis of samples from CV with others collected in the 2000s by one of us (AJMS) at the surface of several production centers, where amphorae had been manufactured during the Roman period. We have not found the origin of the amphorae but concluded that the production center of Haltern 70 amphorae found in Castro do Vieito is not likely to be located at the Guadalquivir Basin.

# MÖSSBAUER STUDIES OF HALTERN 70 AMPHORAE FROM CASTRO DO VIEITO, NORTHWEST OF PORTUGAL

**B.F.O. Costa<sup>1</sup>, W. Häusler<sup>2</sup> and A.J.M. Silva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> University of Coimbra, CFisUC, Department of Physics, 3004-516 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> Technical University of Munich, Physics Department, 85747 Garching, Germany

<sup>3</sup> University of Madeira, School of Technologies and Management, CITUR, 9020-105, Funchal, Portugal

E-mail de contacto: benilde@uc.pt

## **RESUMO**

Haltern 70 is the name of a particular type of amphorae, the ceramic vessels used in antiquity mainly to transport wine and other commodities by the sea and rivers. The significance of the massive presence of this type of artefact in the northwest of Hispania (currently Northwestern Portugal and Spanish province of Galicia) had been the object of debate. Traditionally, the presence of these amphorae has been explained by the importance of the Atlantic coast of Hispania for the ancient commercial routes at the beginning of the Roman Empire.

Haltern 70 amphorae sherds from Castro do Vieito, a Roman settlement from the NW of Portugal occupied during the early imperial period, were studied by Mössbauer spectroscopy and XRD. Firing in air at 750 and 800°C were done in a sherd that was carefully studied. Also, a handle with the potter's stamp "LH ...." was studied. In general, it can be deduced that the amphorae were fired under reducing conditions between 800 and 950°C and oxidised only at the end of the firing cycle, while it was already cooling.

# GEOFÍSICA E OCEANOGRAFIA

# APLICAÇÃO DA FIBRA ÓTICA EM CABOS SUBMARINOS DE TELECOMUNICAÇÕES PARA A MONITORIZAÇÃO DOS OCEANOS E TERRA SÓLIDA

**L. M. Matias<sup>1</sup>, A. Loureiro<sup>2,1</sup>, D. Schlaphorst<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> Agência Regional para o Desenvolvimento da Investigação, Tecnologia e Inovação - ARDITI, Funchal

E-mail de contacto: [lmacias@fc.ul.pt](mailto:lmacias@fc.ul.pt)

## RESUMO

O índice de refração da fibra ótica que é usada nos cabos submarinos de telecomunicações varia quando a fibra é deformada, sujeita a pressão ou quando a temperatura ambiente muda. Estas variações diminutas são hoje medidas por interrogadores. O método mais comum mede a variação da fase de um impulso laser causada por qualquer destes três fenómenos. Admitindo que a variação de fase resulta apenas da deformação da fibra na direção do cabo, então é possível converter a medida ótica numa medida de deformação ou de taxa de variação da deformação. O uso de fibras óticas como sensores tem uma história longa de décadas mas a novidade é que podemos usar essa capacidade em cabos submarinos de telecomunicações para monitorizar os oceanos e a terra sólida. A instalação de sensores tradicionais em meio marinho continua a ser um grande desafio tecnológico e tem grandes custos. Os cabos de telecomunicações oferecem assim uma oportunidade única de monitorização de baixo custo. A metodologia mais desenvolvida para o aproveitamento das fibras óticas designa-se por DAS de Distributed Acoustic Sensing. O DAS é mais frequentemente usado em fibras escuras (sem tráfego de comunicações) mas pode ser usado em fibras com tráfego. A frequência de amostragem pode ir até alguns kHz. O impulso de laser mede o integral da deformação numa pequena secção do cabo, tipicamente de alguns metros e a amostragem espacial pode ser tão curta como 1 metro. Neste momento existem em Portugal dois interrogadores DAS, um instalado próximo do Funchal, na Ilha da Madeira, e o outro instalado na Ilha do Faial, próximo da Horta. O 1º tem a sua operação financiada por um projeto regional do OOM-ARDITI e os dados estão a ser partilhados no âmbito do projeto Europeu SUBMERSE. O 2º interrogador está a ser financiado pelo projeto FCT MODAS. Em ambiente marinho está amplamente demonstrado que o DAS é sensível à agitação marítima e correntes, variações de temperatura das massas de água, ao ambiente sonoro do Oceano e das suas componentes antropogénicas (navegação) e biológicas (vocalizações de cetáceos). O DAS regista as ondas sísmicas, as ondas T e mostrou-se recentemente que também é sensível às ondas de tsunamis. Neste

trabalho iremos apresentar algumas das aplicações já desenvolvidas em vários domínios, sendo o registo das ondas T o mais inovador no panorama internacional. O registo DAS ao largo da Ilha da Madeira e da Ilha do Faial tem, por outro lado, revelado características até agora pouco presentes nas aplicações publicadas, que se devem ao ambiente geológico de origem vulcânica do fundo do mar. O acoplamento do cabo é bastante irregular o que dificulta a interpretação dos registos. Por outro lado, a grande densidade de sensores que a tecnologia DAS permite revela a existência de fenómenos de propagação sísmica que de outra forma, com sensores convencionais, seriam indecifráveis. Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) I.P./MCTES pelos fundos nacionais (PIDDAC) - UIDB/50019/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/50019/2020>), UIDP/50019/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/50019/2020>) e LA/P/0068/2020 (<https://doi.org/10.54499/LA/P/0068/2020>).

# NOVOS DADOS DE FLUXO DE CALOR EM PORTUGAL

**M.R. Duque<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Évora, ECT. Rua Romão Ramalho nº 59, 7000-671 Évora.  
E-mail de contacto: [mrاد@uevora.pt](mailto:mrاد@uevora.pt)

## RESUMO

Tendo por objetivo o estudo térmico de duas regiões, na parte Sul de Portugal Continental, onde ocorrem sismos que, por vezes, atingem magnitudes superiores a 4.0, foram obtidos, utilizando métodos numéricos, novos dados de fluxo de calor de origem geotérmica em regiões sem informação relativa a este parâmetro. No presente trabalho foram ainda incluídos os valores obtidos no bordo Oeste da Faixa Piritosa cartografada em Portugal Continental, numa faixa localizada entre Cercal e Odemira e que é caracterizada por valores elevados de radioatividade e anomalias positivas do campo magnético, ligeiramente inferiores às cartografadas em Monchique.

Na elaboração dos modelos utilizados foi considerada a informação fornecida por tomografia sísmica [1][2] relativa a espessuras e diferentes camadas existentes na crosta. Para além da distribuição de velocidades das ondas sísmicas os trabalhos referidos contêm ainda valores de  $V_P/V_S$  na região, fornecendo informação relativa a alterações dos Coeficientes de Poisson das diferentes formações [3]. Partindo da hipótese de homogeneidade, podemos dizer que valores mais elevados de  $V_P/V_S$  correspondem a temperaturas mais elevadas e formações caracterizadas por menores valores de condutividade térmica. Aos valores menos elevados de  $V_P/V_S$  estarão associadas formações com valores mais elevados de condutividade térmica e temperaturas menos elevadas. A obtenção do fluxo de calor à superfície  $Q_0$  considera que ele resulta da adição da contribuição das fontes de calor na crosta ao fluxo proveniente de zonas mais profundas,  $Q_m$ . O valor de  $Q_m$  utilizado foi  $35 \text{ mW m}^{-2}$ .

Os valores obtidos de fluxo de calor por condução na direção vertical, são integrados no conjunto de dados existente em Portugal Continental. Destacamos os valores relativamente elevados obtidos para a região Monchique, que contrastam com os valores obtidos mais a Sul, no furo Ruivo 1, afetado termicamente pela presença de depósito de sal, que altera a condutividade térmica e o conteúdo de fontes de calor (conteúdo de elementos radioativos) na região, diminuindo o valor do fluxo de calor no furo. Na região Vendas Novas-Arraiolos, não existiam dados de fluxo de calor, destacando-se a assimetria encontrada entre as fronteiras Este e Oeste da região estudada, Na região entre o Cercal e Odemira

destacamos a diferença entre os valores de temperatura detetados entre a parte Norte e a parte Sul

- [1] I. Veludo, N. Dias, P. Fonseca, L. Matias, F. Carrilho, C. Haberland, A. Villaseñor. *Tectonophysics*, 717, 645-664 (2017).
- [2] S. Dunder, N. Dias, G. Silveira, R. Kind, L. Vinnik, L. Matias. *Pure and Applied Geophysics.*, 173, 1949-1970 (2016).
- [3] J. Afonso, G. Ranalli , M. Fernandez, W. Griffin, S. O'Reilly, U. Faul. *Earth and Planetary Science Letters*, 289, 606-618 (2010).

# SPACE RADIATION IN LOW EARTH ORBIT AND SPACE WEATHER ON BOARD THE SPACE RIDER

**C. Francisco<sup>1,2,3</sup>, R. Silva<sup>3</sup>, F. Pinheiro<sup>2</sup>, J. Maia<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC)

<sup>3</sup> Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP)

<sup>4</sup> Universidade da Beira Interior

E-mail de contacto: [cristiana.francisco@coimbra.lip.pt](mailto:cristiana.francisco@coimbra.lip.pt)

## RESUMO

Wide-dynamic range monitoring of the near-Earth space radiation environment [1] in satellites is crucial for space radiation research [2] and Space Weather (SW) analysis [3, 4]. Time and spatially correlated measurements in orbit are vital for developing models of geomagnetic and solar activity, particularly for analyzing solar particle events, coronal mass ejections, the interaction of solar radiation and galactic cosmic rays in the magnetosphere, the dynamics of the Earth radiation belts [5-7], and forecasting of SW phenomena [8]. This data is also essential for the design and operation of spacecraft [9] and the assessment of radiation effects on aerospace components and electronic devices [10, 11].

TGF and High-energy astrophysics Observatory for gamma-Rays on board the Space Rider (THOR-SR) is a mission whose scientific payload is composed of a CdTe Stack Detector and Si Particle Tracker [12]. It will address gamma-ray astrophysics, SW, and TGF monitoring. The Si particle tracker will function as both a charged particle telescope for SW and a high-resolution radiation monitor for radiation effects [13]. It consists of the MiniPIX Space device based on the state-of-the-art Timepix3/Timepix2 ASIC chips from CERN equipped with silicon sensors [14, 15]. Two such devices will be accommodated in an orthogonal array in order to cover with a full wide field-of-view, spectral, and directional tracking resolving power the complex and variable space radiation along the orbit of the Space Rider mission [16]. These devices will map the light (electron) and heavy (proton, ions) charged particle components in terms of particle species, deposited energy, and direction. Importantly, the Space Rider flight should coincide with the solar maximum, predicted for mid-2025 for the current cycle, offering an opportunity to study its effects on the LEO radiation field.

THOR-SR's two-month space mission addresses three different objectives:

1. Space Orbital Radiation and SW: The Si Particle Tracker will allow high-precision wide-range measurements of space radiation and SW data in a two-month equatorial orbit.



2. Radiation Monitoring for both Gamma-ray CdTe Detector and the Space Rider: The mission will analyze radiation effects on the Gamma-ray CdTe Stack performance, space radiation in LEO and SW.
3. Technology Demonstration of the first Timepix2 in space: This will validate the performance of the Timepix2 ASIC chips in a space environment, a technology developed by Advacam in Prague, Czechia [14, 16].

The experiment will launch aboard the Space Rider Field-of-View Locker, which will be placed in LEO by a Vega-C rocket. The initialization phase will begin once the Space Rider reaches a stable LEO. During the flight, the Si Particle Tracker will record orbital and solar particle tracks. The scientific data sent to the ground station will be analyzed at LIP's ground station facilities, allowing for real-time tuning of the detector units' response if needed.

THOR-SR will provide invaluable data on space radiation, contributing to improved SW forecasting and enhanced safety and design of future spacecraft. By validating the Timepix2 technology in space, it will also pave the way for more advanced radiation detection and monitoring systems in future missions.

- [1] S. Bourdarie and M. Xapsos, IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 55, no. 4, pp. 1810-1832, 2008. R miss
- [2] H. Koshiishi, Advances in Space Research, Volume 53, Issue 2, 2014.
- [3] K Kudela 2013 J. Phys.: Conf. Ser. 409 012017
- [4] Vainio et al., Space Sci Rev 147, 187–231 (2009)
- [5] Reeves et al., Science, 2013, Vol 341, Issue 6149 pp. 991-994
- [6] Millan et al., Space Sci Rev 173, 103–131 (2012)
- [7] Ginet, et al. (2013), Space Sci. Rev. 179, 579–615.
- [8] G.Mariatos et al.. (2012) International Journal of Modern Physics A. 20.
- [9] Vampola, A. L., IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 28, No. 6, pp. 1831-1839, 2000.
- [10] R. Ecoffet, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 60, no. 3, pp. 1791-1815, 2013
- [11] Shin and Kim, Radiation protection dosimetry 108 4 (2004): 279-91.
- [12] Alberto Fedele et al., Acta Astronautica, Volume 152, 2018, Pages 534-541.
- [13] THOR-SR ESA Interface Requirements' Document:  
[https://www.lip.pt/~rcsilva/THOR\\_T\\_IRD\\_003%2020230309.pdf](https://www.lip.pt/~rcsilva/THOR_T_IRD_003%2020230309.pdf)
- [14] W.S. Wong et al., Radiation Measurements, Vol. 131, 2020, 106230.
- [15] St. Gohl et al 2016 JINST 11 C11023
- [16] C. Granja et al 2022 JINST 17 C11014

# TEMPO, QUALIDADE DO AR E ADMISSÕES HOSPITALARES POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES\_FAIAL\_AÇORES

**M. Meirelles<sup>1,2,\*</sup>, F. Carvalho<sup>3</sup>, H. Vasconcelos<sup>1,4</sup>, A. Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade dos Açores (FCT – UAc), 9500 – 321 Ponta Delgada, Açores, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Investigação em Ciências do Mar da Universidade dos Açores (OKEANOS), Faial, Açores, 9901 – 862 Horta, Portugal

<sup>3</sup> Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 9500 – 321 Ponta Delgada, Açores, Portugal

<sup>4</sup> Laboratório de Instrumentação, Engenharia Biomédica e Física da Radiação (LIBPhys – UNL), Departamento de Física, FCT – NOVA, Universidade de Lisboa, 2829 – 516 Caparica, Portugal

\* E-mail de contacto: [maria.gf.meirelles@uac.pt](mailto:maria.gf.meirelles@uac.pt)

## RESUMO

A mudança climática exerce um impacto significativo na saúde humana, estima-se que a carga global de doenças associadas à alteração dos parâmetros atmosféricos e da qualidade do ar, continuará a crescer à medida que as mudanças climáticas persistem. No entanto, a influência específica destas alterações sobre as doenças cardiovasculares e respiratórias ainda não recebeu uma investigação abrangente em âmbito global, e especificamente, em pequenos territórios como as ilhas. [1] a gravidade das doenças cardiovasculares é refletida nas suas altas taxas de mortalidade, com aproximadamente 17,9 milhões de vidas perdidas a cada ano em todo o mundo, de acordo com a Organização Mundial da Saúde. Embora, os mecanismos subjacentes aos efeitos na saúde, devido às ondas de calor, ainda não foram bem compreendidos, associam-se as temperaturas altas como responsáveis pelo aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias [2] e [3]. As flutuações na temperatura e a poluição do ar foram relatadas como um dos fatores mais importantes nas causas de doenças cardiovasculares e respiratórias [4].

No presente estudo, avaliamos as correlações entre as admissões hospitalares por doenças cardiovasculares, parâmetros meteorológicos e da qualidade do ar. A informação de base epidemiológica (hipertensão e sistema circulatório), meteorológica (precipitação, velocidade do vento, amplitude térmica, humidade relativa do ar, ponto de orvalho e temperatura mínima diária) e da qualidade do ar (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM<sub>10</sub>) referida nesse trabalho foi concedida pelos Serviços de Estatística do Hospital da Horta, ilha do Faial, Observatório Meteorológico Príncipe Alberto do Mónaco \_ Instituto Português do Mar e da Atmosfera e pela Rede de Monitorização da Qualidade do Ar (estação dos Espalhafatos – ilha do Faial) da Região Autónoma dos Açores, no período entre 2008 e 2021. Para a análise dos dados adquiridos relativos às admissões hospitalares (ida às urgências e internamentos), foram utilizadas séries temporais de caixa de bigodes (valores mensais e anuais). Gráficos de intervalo de percentis semanais para as diferentes variáveis meteorológicas

e média semanal das admissões, bem como, a análise em componentes principais (PCA) para as escalas mensais e anuais dos parâmetros em estudo.

Dias frios com baixa amplitude térmica são propícios a admissões por doenças cardiovasculares. As doenças de hipertensão ocorrem com mais frequência em dias com um valor baixo para a temperatura do ponto de orvalho. Da análise PCA, conclui-se que, os totais de precipitação e velocidade do vento estão pouco associados às doenças em estudo. Não se verificou correlação entre o parâmetro humidade relativa do ar e as doenças cardiovasculares e de hipertensão. Para uma temperatura de referência de 17°C, as admissões aumentam com uma exposição dois dias antes (Lag = 2). Níveis mais elevados das concentrações de ozono, estão associados a um número mais elevado de hospitalizações para as três doenças em estudo. Os resultados deste estudo sugerem que globalmente o efeito dos parâmetros meteorológicos e da qualidade do ar afetam o número de admissões hospitalares por doenças cardiovasculares.

[1] <https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases>

[2] Seltenrich, N. Between extremes: health effects of heat and cold. *Environ. Health Perspect.* 123 (11), A275–A280. <https://doi.org/10.1289/ehp.123-A275> (2015).

[3] Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 386 (9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114) (2015).

[4] Ayoob, R., Mahdi G., Ali H., Mohammad S., Sohrab I., Ali M., Yousef P., Elham R., Reza H., Ali O., Mehdi F. and P.U. Nguyen. Investigating the impact of air pollution and temperature changes on emergency admissions (cardiovascular + respiratory) disease in the city of Bojnord, northeastern Iran. *Heliyon* 10 (7), (2024) e27900.

# FÍSICA DOS PLASMAS

# UNVEIL PLASMA WALL INTERACTIONS IN FUSION REACTORS WITH ION BEAM TECHNIQUES

N. Catarino<sup>1</sup>, R. Martins<sup>1</sup>, M. Dias<sup>1</sup>, N. Barradas<sup>2</sup>, J. Likonen<sup>3</sup>, A. Widdowson<sup>4</sup>, E. Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IPFN, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, PT

<sup>2</sup>C2TN, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, PT

<sup>3</sup>VTT Technical Research Centre of Finland, PO Box 1000, FIN-02044 VTT, Finland

<sup>4</sup>UK Atomic Energy Authority, Culham Science Centre, Abingdon, OX14 3DB Oxfordshire, UK

*Contact: ealves@ctn.tecnico.ulisboa.pt*

Accelerator based analytical techniques play a fundamental role on the study of plasma wall interactions in fusion tokamaks. Constant fluxes of energetic neutrals and charged particles lead to erosion and re-deposition processes as well as radiation damage on the walls. In addition, plasma disruptions could cause large thermal shocks melting or vaporizing the material in the chamber walls. In combination with all these effects fuel retention is a process always present which must be fully understood.

In the present contribution, we explore the capabilities of ion beam techniques to study retention and erosion effects of deuterium plasmas in the wall materials of JET tokamak. Samples from different areas of the chamber were analyzed with Rutherford and elastic backscattering spectrometry, nuclear reaction analysis as well as electron microscopy.

Results indicate a major deposition region on the top of divertor tiles with a large retention of  $2\text{H}$ . The position of the plasma strike point influences the distribution and deposition in the divertor walls. In the chamber walls the central part of the limiter tiles show an enhanced erosion without no deuterium retention. Retention is mostly observed in the tile gaps and deposition occurs at the ends of the tiles.

Additional studies were performed to get more insight on the effect of the presence of  $^4\text{He}$ , a fusion product present in the plasma, on the retention properties: With that in mind, we have produced and co-implanted a W-Ta alloy with  $^4\text{He}$  and  $^2\text{H}$ . The implantations were done at room temperature with 10 keV of  $\text{He}^+$  at a constant fluence of  $5 \times 10^{21}$  at/m<sup>2</sup> and 5 keV of  $\text{D}^+$  with fluences in the range  $10^{20}$ - $10^{21}$  at/m<sup>2</sup>. The results show that the alloys implanted with  $\text{He}^+$  evidence surface blistering and nuclear reaction analysis shows that D retention is higher after sequential  $\text{He}^+$  and  $\text{D}^+$  implantation than for single  $\text{D}^+$  implantation.

The results will be discussed and a picture of the plasma effects on the chamber walls presented.

# PREDICTIONS OF PLASMA CONFINEMENT IN FUSION DEVICES USING MACHINE LEARNING DECISIONS AND CLASSIFICATION ALGORITHMS

**R.Laia<sup>1</sup>, R.Jorge<sup>2</sup>, G.Abreu<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>2</sup> Department of Physics, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin 53706, USA

<sup>3</sup> Alfredo AI, Lisboa

E-mail de contacto: rodrigo.laia@tecnico.ulisboa.pt

## RESUMO

A fusão nuclear é uma fonte de energia limpa e sustentável que oferece grande potencial para satisfazer as necessidades energéticas futuras da humanidade. A fusão nuclear ocorre quando núcleos de átomos se combinam para formar um núcleo mais pesado, libertando uma quantidade significativa de energia no processo. Contudo, para isso, é necessário controlar o plasma a temperaturas extremamente elevadas. É possível fazer fusão de forma controlada através de tokamaks e stellarators. Os tokamaks são axisimétricos, mas carecem de fortes correntes de plasma, resultando em instabilidades. Os stellarators, por outro lado, têm uma geometria mais complexa, mas permitem que o plasma se mantenha estável confinando-o durante longos períodos de tempo. Aqui focamo-nos na previsão do nível da quasisimetria [1] em stellarators. Esta propriedade é importante para manter as partículas alfa resultantes das reações de fusão dentro do plasma. Para abordar este problema, foi criada uma base de dados que contém configurações de stellarators e várias grandezas que podem ser calculadas a partir dos seus coeficientes, incluindo a quasisimetria. De modo a estudar a sua variação, os dados passaram por duas fases: um modelo de classificação, com o objetivo de garantir que o modelo apenas prevê stellarators com superfícies de fluxo toroidais, e um modelo de regressão, que prevê a quasisimetria. Foram testados dois modelos de regressão, um gradient boosting tree e a sua versão probabilística, sendo que a última prevê distribuições e incerteza para o valor previsto. Os resultados deste estudo permitem avaliar os parâmetros que mais influenciam a quasisimetria do plasma e gerar novos stellarators otimizados.

[1] Landreman, M., & Paul, E. (2022). Magnetic fields with precise quasisymmetry for plasma confinement. *Physical Review Letters*, 128(3), 035001.

# SIMULAÇÃO QUÂNTICA DE PLASMAS EXTREMOS

**Ó. Amaro<sup>1</sup>, M. Vranic<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> GoLP/Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal

E-mail de contacto: [oscar.amaro@tecnico.ulisboa.pt](mailto:oscar.amaro@tecnico.ulisboa.pt)

## RESUMO

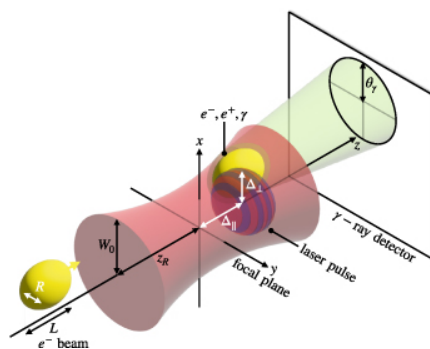
A nova geração de sistemas lasers ultraintensos, que deverão tornar-se operacionais e acessíveis a investigadores nos próximos anos, permitirá estudar o ainda pouco conhecido regime não-perturbativo da Electrodinâmica Quântica (SFQED). A modelação numérica de colisões entre partículas relativísticas e estes lasers intensos, curtos e focados requer em geral recursos computacionais elevados e, por conseguinte, está limitada a cenários idealizados e longe de experiências reais.

Apesar da existência de algoritmos e códigos de simulação (clássica) eficientes, é interessante estudar a possibilidade de usar algoritmos quânticos (a serem executados em dispositivos quânticos num futuro próximo) para estudar estes sistemas.

Há duas razões principais para tal: neste regime a produção de partículas e emissão de radiação altamente não-perturbativa domina a dinâmica do sistema, pelo que se justifica um formalismo quântico de primeiros princípios e auto-consistente; por outro lado, mesmo casos em que este formalismo é usado (códigos clássicos de lattice QCD), há problemas que surgem relacionados com a presença de fermiões. A simulação Hamiltoniana em dispositivos quânticos promete resolver ambas estas dificuldades.

Neste trabalho damos um primeiro passo nesta direção, e estudamos as perdas radiativas de um feixe de electrões num campo electromagnético (de um laser) usando um algoritmo quântico variacional. Esta abordagem tem as vantagens de os circuitos quânticos “curtos” poderem ser executado em dispositivos já existentes, e de poder reconstruir as funções de onda/distribuição das partículas para todos os instantes da evolução temporal.

Os passos seguintes passarão por incorporar a dinâmica de produção de pares e reação das correntes produzidas pelas partículas nos campos electromagnéticos externos [2], com o objectivo de melhor entender este novo regime de plasmas em condições extremas.



**Figura 1.** Espalhamento de um feixe de electrões relativísticos (a amarelo) e de um pulso laser ultraintenso, ultrafocado, e de curta duração (a vermelho). Uma descrição realística da geometria da colisão é crucial para a modelação das distribuições finais das partículas numa experiência [1].

#### Acknowledgements

This work was supported by the Portuguese Science Foundation (FCT) Grant Nos. CEECIND/01906/2018,PTDC/FIS-PLA/3800/2021

DOI:

<https://doi.org/10.1103/10.54499/PTDC/FIS-PLA/3800/2021>, and UI/BD/153735/2022.

[1] Ó. Amaro and M. Vranic, Plasma Phys. Control. Fusion 66 045006 (2024)

[2] Ó. Amaro, L. Gamiz, M. Vranic, a ser submetido (2024)



# NÓ DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA ESPECTROSCOPIA DE BANDA LARGA NO TOKAMAK ISTTOK

**Vasco Freitas<sup>1</sup>, Bernardo Carvalho<sup>1</sup>, Horácio Fernandes<sup>1</sup>,  
Rui Gomes<sup>1</sup>, Humberto Figueiredo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

[hf@ipfn.tecnico.ulisboa.pt](mailto:hf@ipfn.tecnico.ulisboa.pt)

## RESUMO

A identificação de picos espectrais característicos da radiação de um plasma e a relação entre eles permite caracterizar o nível de impurezas existentes, em particular em dispositivos de fusão nuclear. Sendo a pureza do gás ( $H_2$ ) extremamente importante na obtenção de boas descargas no tokamak ISTTOK, igualmente é necessário monitorizar a libertação de impurezas da parede durante a sua operação. O surgimento de riscas espectrais de outras espécies que não o hidrogénio permitirá deste modo inferir sobre o nível de contaminação da câmara e a existência de eventuais fugas de vácuo [1].

Por outro lado seria desejável que esta identificação fosse realizada sistematicamente em cada descarga pelo que neste trabalho se optou por adquirir espectros em tempos pré-determinados de modo a acompanhar a evolução quer do vácuo quer da contaminação ao longo do tempo e com registo permanente na base de dados do ISTTOK [2].

Deste modo, o presente trabalho discute a implementação do desenvolvimento de um sistema de aquisição automático de espectros banda larga usando um espectrómetro Sarspec res+ [3] no ISTTOK. Este espectrómetro opera nos comprimentos de onda entre os 150 nm e os 1300 nm com uma resolução temporal de 35ms e dispõe de um tempo de integração mínimo de 4 ms.

O software é composto por (i) um I/O controller EPICS IOC em execução num (ii) raspberry pi, por (iii) um driver USB que permite a comunicação com o (iv) espectrómetro e por um (v) servidor SDAS [4] que permite a escrita para uma base de dados. Deste modo é possível configurar o espectrómetro e adquirir os seus dados através da rede do ISTTOK.

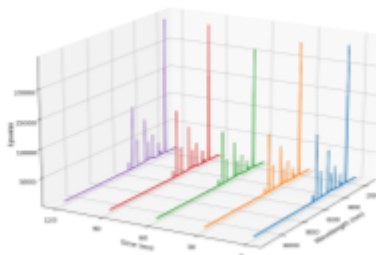


Figura 1: Dados preliminares dos espectros de uma lâmpada de mercúrio com tempo de integração 10ms e 30ms entre aquisições.

Na figura 1 está caracterizada a amostragem com tempos característicos para a análise necessária no ISTTOK obtida com o Sarspec, onde foi usada uma lâmpada de mercúrio para estes primeiros testes.

Com os dados obtidos consegue-se então analisar a evolução temporal da presença de vários elementos na câmara de vácuo, permitindo (i) uma melhor caracterização de impurezas no plasma em diferentes instantes da descarga e (ii) acompanhar a evolução das impurezas ao longo dos dias [5]. Após o estudo da relação entre os picos espectrais tentar-se-á obter um *proxy* para caracterizar a qualidade do condicionamento da câmara e da atmosfera das descargas.

## Bibliografia

- [1] Hutchinson IH. Principles of Plasma Diagnostics. 2nd ed. Cambridge University Press; 2002.
- [2] Ivo S. Carvalho, Paulo Duarte, Horácio Fernandes, Daniel F. Valcárcel, Pedro J. Carvalho, Carlos Silva, André S. Duarte, André Neto, Jorge Sousa, António J.N. Batista, Tiago Hekkert, Bernardo B. Carvalho, ISTTOK real-time architecture, Fusion Engineering and Design, 2013
- [3] <https://www.sarspec.com/products/spectrometers/flex-plus>
- [4] Neto, André, et al. A standard data access layer for fusion devices R&D programs. Fusion engineering and design, 2007, 82.5-14: 1315-1320
- [5] W. Poschenrieder, K. Behringer, H.-St. Bosch, A. Field, A. Kallenbach, M. Kaufmann, K. Krieger, J. Küppers, G. Lieder, D. Naujoks, R. Neu, J. Neuhauser, C. Garcia-Rosales, J. Roth, R. Schneider, ASDEX UPGRADE-team, Molecular impurities in ASDEX UPGRADE plasma discharges, Journal of Nuclear Materials, 1995

# APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING EM REFLECTOMETRIA DE PLASMAS DE FUSÃO NUCLEAR

**Carolina Dantas<sup>1</sup>, J. Santos<sup>1</sup>, J. Vicente<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal

E-mail de contacto: [carolina.g.dantas02@gmail.com](mailto:carolina.g.dantas02@gmail.com)

## RESUMO

Plasmas quentes são o meio onde ocorrem as reações de fusão nuclear nas estrelas e em dispositivos experimentais de fusão por confinamento magnético. Para monitorizar e controlar o plasma presente nos reatores de fusão nuclear é necessário medir a densidade eletrónica do plasma. Uma das técnicas de diagnóstico aplicadas com este fim é a reflectometria de micro-ondas [1]. Esta técnica baseia-se no envio de ondas com frequências específicas para sondar o plasma, propagando-se por regiões de densidade crescente até atingir uma camada crítica de densidade do plasma onde a onda é refletida. A onda refletida sofre um deslocamento de fase equivalente ao atraso de tempo de um eco de radar. A variação temporal desse atraso relaciona-se com uma frequência de batimento do sinal de interferência obtido no detetor do reflectómetro. No entanto, a turbulência do plasma e outras fontes de ruído dificultam a extração da frequência de batimento. Neste trabalho, com o objetivo de melhorar as medidas obtidas com este tipo de diagnósticos de reflectometria, exploram-se técnicas de *machine learning*, sendo desenvolvidas e aplicadas redes neuronais aos dados de reflectometria [2]. A utilização de redes neuronais, pode permitir processos de diagnóstico do plasma mais automatizados e o controlo em tempo-real da sua posição em futuros reatores de fusão nuclear. Para treino, teste e validação dos modelos de *machine learning*, foram usados dados experimentais do dispositivo de confinamento magnético *ASDEX Upgrade* [3]. São apresentados os primeiros resultados da aplicação destes modelos, para a estimativa de frequências de batimento, que permitem reconstruir o perfil de densidade eletrónica do plasma sondado.

[1] T. Estrada, *et al.*, Plasma and Fusion Research, 7 (2012) 2502055

[2] J. Santos, *et al.*, Fusion Eng. Des. **48-1** (2000) 119-126

[3] ASDEX Upgrade Special Issue, Fusion Science and Technology **44** (2003) Issue 3.

# THE IMPORTANCE OF PLASMA FLOWS IN IMPROVING FUSION PERFORMANCE

**M. Vaz<sup>1</sup>, C. Silva<sup>1</sup>, L. Gil<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

E-mail de contacto: [mariovaz@tecnico.ulisboa.pt](mailto:mariovaz@tecnico.ulisboa.pt)

## RESUMO

Nuclear fusion is a process under which light nuclei, typically Deuterium (D) and Tritium (T), are combined to form heavier nuclei. The difference in masses between the initial and product species is released as energy, as expressed by Einstein's equivalence between mass and energy. The large amount of energy released in a nuclear fusion reaction alongside the fact that no CO<sub>2</sub> is released make it a promising solution to the world energy problems [1]. These reactions require a mixture of deuterium and tritium to be heated to temperatures exceeding 100 million degrees Celsius. Maintaining this mixture hot, dense, and for long enough, while protecting the reactor's walls, has proved to be a challenging problem. Regimes with improved confinement, such as the H-mode [2], are being considered for a future fusion reactor. The existence of a strong shear (gradient) in the plasma flow is thought to be fundamental for the turbulence suppression, explaining the transition to H-mode [3]. The origin of the flow shear is still not fully understood and therefore flow measurements are required to better understand the turbulence suppression process. This work focuses on the characterization of the edge flow profile when approaching the transition to H-mode at JET (Joint European Torus, EUROfusion, UK), contributing to a better understanding of the transition physics and its triggering mechanisms. To this purpose, detailed measurements were obtained by Doppler backscattering, a microwave diagnostic that measures the propagation velocity of the turbulent structures [4]. Our results indicate that, at JET, no critical  $E \times B$  edge shear flow exists at the L-H transition across various parameters, including variations in density, ion mass, and heating method.

[1] Jeffrey P Freidberg, Plasma physics and fusion energy. Cambridge university press. (2008)

[2] F Wagner, Plasma Phys. Control. Fusion, 49, B1-B33 (2007)

[3] K H Burrell *et al* Plasma Phys. Control. Fusion, 34, 1859-1869 (1992)

[4] C. Silva *et al*, Nucl. Fusion, 61, 126006 (2021)

## ENSINO DA FÍSICA

# ATIVIDADES PRÁTICAS NO ENSINO DA FÍSICA: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO SECUNDÁRIO

**Andrade, João<sup>1</sup>; Prior, Filipa<sup>1</sup>; Fonseca Cristina<sup>2</sup>; Gordo, P.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Escola Secundária José Falcão (Coimbra)

E-mail de contacto: [j.andre.rebelo@hotmail.com](mailto:j.andre.rebelo@hotmail.com), [filipa.prior@hotmail.com](mailto:filipa.prior@hotmail.com),  
[cristina.fonseca@esjf.edu.pt](mailto:cristina.fonseca@esjf.edu.pt), [pgordo@uc.pt](mailto:pgordo@uc.pt)

## RESUMO

O presente trabalho descreve seis atividades experimentais de Física projetadas para alunos do ensino secundário, utilizando materiais de fácil acesso nas escolas e de relativo baixo custo financeiro. Este artigo trata-se de uma extensão do trabalho desenvolvido na Unidade Curricular *Projeto de Investigação em Física* no âmbito do *Mestrado em Ensino de Física e Química* da Universidade de Coimbra. O seu objetivo é fundamentar e descrever cada uma das experiências de forma que estas possam ser replicadas e implementadas futuramente, em conjunto com as atividades laboratoriais atualmente realizadas na disciplina de Física e Química A. As atividades experimentais descritas visam proporcionar uma compreensão prática de conceitos físicos variados, sendo estes: 1) análise da relação entre a potência dissipada numa lâmpada e a temperatura da lâmpada (efeito de Joule e irradiação); 2) modulação de um sinal transmitido por laser; 3) cálculo do valor da velocidade do som num sólido com propriedades magnéticas; 4) determinação do valor experimental da velocidade do som no ar recorrendo à diferença de fase entre dois sinais; 5) determinação do valor da velocidade do som no ar com base nas interferências construtivas e destrutivas (equivalente da experiência de Franck-Hertz); 6) determinação do valor experimental da velocidade da luz num meio material.

# APLICACIONES DE LA IA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN SECUNDARIA

**J. Sanmartín<sup>1</sup>, A. Gayol<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>CPR Plurilingüe Vila do Areiteiro, O Carballiño, Rúa Corzos nº6 - 32500 Ourense (España)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Química, EII Universidad de Vigo, Lagoas.Marcosende s/n, 36310 Vigo, España

E-mail de contacto: [juan@juansanmartin.net](mailto:juan@juansanmartin.net), [anagayol.congresos@gmail.com](mailto:anagayol.congresos@gmail.com)

## RESUMO

La inteligencia artificial (IA) está revolucionando la educación al personalizar el aprendizaje de los estudiantes y adaptar los recursos educativos a sus necesidades individuales. En el contexto de la enseñanza de la física en educación secundaria, una aplicación práctica de la IA es el uso de modelos de lenguaje como ChatGPT para la creación y modificación de problemas de física.

### Generación de Problemas de Física con IA

Los profesores de física pueden utilizar ChatGPT para generar una variedad de problemas, desde ejercicios básicos hasta desafíos más avanzados, ajustando la dificultad según el nivel de los estudiantes. Por ejemplo, un profesor puede pedir a ChatGPT que cree un problema relacionado con el cálculo de la velocidad de un objeto en movimiento. Luego, puede ajustar la dificultad del problema solicitando cambios en los parámetros, como la masa del objeto, la fuerza aplicada o las condiciones del movimiento (uniforme o acelerado).

### Uso de la IA para la Resolución de Problemas

Los estudiantes pueden resolver los problemas generados por ChatGPT y recibir retroalimentación instantánea. El modelo de IA puede guiar a los estudiantes a través del proceso de resolución, ofreciendo explicaciones detalladas y sugerencias útiles. Además, ChatGPT puede adaptarse a las respuestas de los estudiantes, proporcionando ejemplos adicionales o reforzando conceptos clave según sea necesario.

### Recursos Audiovisuales y Ejercicios con Magic School<sup>[2]</sup>

Otra herramienta valiosa es Magic School, que utiliza IA para mejorar la enseñanza de la física. Los profesores pueden seleccionar videos educativos sobre temas de física y utilizar Magic School para crear automáticamente preguntas y ejercicios que complementen el contenido del video. Esto ofrece a los estudiantes una experiencia de aprendizaje más interactiva y enriquecedora, permitiéndoles consolidar y aplicar los conceptos aprendidos de manera práctica.

### Creación de Materiales Educativos Visuales

Además de la creación de problemas y preguntas, la IA también se utiliza para diseñar presentaciones, infografías y otros materiales educativos. Herramientas como Canva o Piktochart emplean algoritmos de IA para ayudar a los profesores a crear materiales visuales atractivos y efectivos para explicar conceptos de física de manera más clara y comprensible.

### Integración con la Metodología Flipped Classroom

Todas estas herramientas de IA se integran perfectamente en la metodología de Aula Invertida (Flipped Classroom). En esta metodología, los estudiantes revisan el contenido antes de la clase, ya sea a través de videos, lecturas u otros recursos, y luego utilizan el tiempo en clase para realizar actividades prácticas, resolver problemas y participar en discusiones guiadas por el profesor. La IA potencia esta metodología al proporcionar recursos personalizados y adaptados a las necesidades individuales de cada estudiante.

En resumen, la IA ofrece un conjunto de herramientas poderosas que pueden transformar la enseñanza de la física en secundaria, proporcionando recursos educativos personalizados y mejorando la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

### Ejemplo Práctico en Física

Supongamos que un profesor desea crear un problema sobre la ley de gravitación universal. Puede usar ChatGPT para generar un problema que implique calcular la fuerza gravitatoria entre dos masas. Luego, puede ajustar la dificultad del problema solicitando cambios en la distancia entre las masas o en los valores de las masas involucradas.

**Ejemplo Problema Básico:** "Calcula la fuerza gravitatoria entre dos masas de 5 kg y 10 kg que están separadas por una distancia de 2 metros."

**Ejemplo Problema Avanzado:** "Calcula la fuerza gravitatoria entre la Tierra (masa =  $5.97 \times 10^{24}$ ) y la Luna (masa =  $7.35 \times 10^{22}$  kg), considerando que están separadas por una distancia media de 384,400 km."

Los estudiantes pueden resolver estos problemas y recibir retroalimentación inmediata, ayudándoles a entender mejor los conceptos de la física y a aplicar las fórmulas correctamente.

En resumen, la IA ofrece un conjunto de herramientas poderosas que pueden transformar la enseñanza de la física en secundaria, proporcionando recursos educativos personalizados y mejorando la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

[1] Luis Dávila B, IA como Copiloto: Creando Orientaciones Didácticas con Recursos Digitales (2023).

[2] Vineeta Garg, AI in the Classroom: Empowering Teachers, Transforming Classrooms, Global Education Network – Canal Youtube (2024).

[3] Sharif Uddin Ahmed Rana, Uses of Artificial Intelligence in Education, Global Education Network – Canal Youtube (2023).

[4] Barak, M., & Aslan, O. (2018). The impact of technology on chemistry teaching: A review of recent research. Chemistry Education Research and Practice, 19(3), 713-732.



# A PHYPHOX NO ESTUDO DO MOVIMENTO VERTICAL DE QUEDA E DE RESSALTO DE UMA BOLA

**Albino Rafael Pinto<sup>1</sup>, Carlos Saraiva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras

<sup>2</sup> Agrupamento de Escolas de Trancoso, Trancoso; carlos.saraiva1@gmail.com

E-mail de contacto: [carlos.saraiva1@gmail.com](mailto:carlos.saraiva1@gmail.com)

## RESUMO

Na Física do 10º ano, na atividade laboratorial “AL 1.2. Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola: transformações e transferências de energia” é habitual deixar cair uma bola de uma determinada altura e usar um sistema de aquisição de dados para medir as correspondentes alturas de ressalto. Nesta atividade, de acordo com as aprendizagens essenciais (AE), é sugerido “investigar, experimentalmente, o movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola, com base em considerações energéticas”. Além disso, é importante “comparar energias dissipadas na colisão de uma mesma bola com diferentes superfícies, ou de bolas diferentes na mesma superfície, a partir dos declives das retas de regressão de gráficos da altura de ressalto em função da altura de queda”. Neste póster, explicamos como esta atividade laboratorial pode ser facilmente realizada com a aplicação phyphox instalada num telemóvel.

Esta experiência foi realizada em contexto de sala de aula. No entanto, atendendo à sua fácil execução e à simplicidade do equipamento necessário, esta atividade pode ser replicada pelos alunos em casa.

Numa experiência nunca se eliminam completamente os erros e há que considerar as inerentes incertezas dos equipamentos. Contudo, os valores obtidos aproximam-se do previsto no modelo teórico.

[1] A aplicação phyphox está disponível para Android e iOS em [phyphox.org](http://phyphox.org)

[2] A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola, Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva, *Gazeta de Física*, Vol. 46, N° 3, pp. 15-18, 2023.

[3] Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox, Sebastian Staacks, Simon Hütz, Heidrun Heinke, Christoph Stampfer, *Physics Education*, Vol. 53 (4), 045009, 2018.

[4] Vídeo “A phyphox no estudo do movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola” disponível em: <https://youtu.be/GJ7poBvRayc>

# A INCERTEZA DO VALOR MÉDIO DAS MEDIÇÕES: UMA FERRAMENTA PEDAGÓGICA PARA DEMONSTRAR O SEU VERDADEIRO VALOR

**Rui Agostinho**

Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

E-mail de contacto: [rjagostinho@ciencias.ulisboa.pt](mailto:rjagostinho@ciencias.ulisboa.pt)

## RESUMO

Numa ciência experimental como a Física, à medição<sup>1</sup> dum mesuranda<sup>2</sup>,  $X$ , associa-se o tratamento numérico dos valores  $x_i$  medidos<sup>3</sup> de modo a obter-se a melhor estimativa da mesuranda. O resultado pretendido é poder afirmar que  $X$  está contido num intervalo  $\bar{x}_n \pm \Delta\bar{x}_n$  com uma probabilidade conhecida. O valor médio  $\bar{x}_n$  é estatisticamente centrado no conjunto dos  $n$  resultados de medição<sup>4</sup>, desde que alguns critérios de uniformidade sejam seguidos. Mas é necessário atribuir-lhe a incerteza  $\Delta\bar{x}_n$ , que é só definido pelos instrumentos, procedimentos e métodos de medição usados. Aqui surge o problema pois há muita confusão sobre qual é a incerteza  $\Delta\bar{x}_n$ . É geralmente ensinado que deve ser o maior desvio absoluto à média, ou seja  $\Delta\bar{x}_n = \text{Max}(|\delta_i| = x_i - \bar{x}_n|)$ . *Esta é a pior escolha que se pode fazer*, mesmo para um conjunto de poucos ensaios,  $n \leq 6$ . O objetivo desta apresentação é defender que  $\Delta\bar{x}_n$  deve ser sempre a incerteza estatística do valor médio.

Na Figura 1 mostra-se a distribuição dos 5000 valores médios, cada um proveniente dum amostra de 3 medições  $x_i$  com  $i=1..3$ . Foi assumido que a mesuranda  $X=9,800$  e que os instrumentos + procedimentos criavam uma flutuação estatística gaussiana com desvio padrão  $\sigma=0,2$  de cada vez

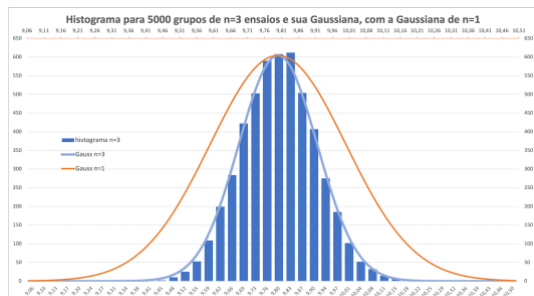


Figura 1- A distribuição de 5000 valores médios de amostras de 3 medições e a curva gaussiana teórica. A laranja está a gaussiana que caracteriza a distribuição do valor de um único ensaio, com  $\sigma=0,2$ .

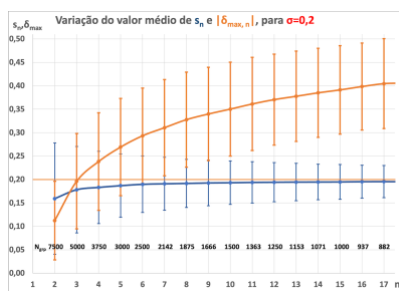


Figura 2- A variação do desvio padrão  $s_n$  e do desvio máximo à média  $\delta_{\text{max},n}$ , em função do tamanho  $n$  da amostra. Note-se a divergência e a enorme flutuação dos valores de  $\delta_{\text{max}}$ .

<sup>1</sup> Medição: processo experimental para obter um ou mais valores razoavelmente atribuíveis a uma grandeza.

<sup>2</sup> Mesuranda: grandeza que se pretende medir (VIM).

<sup>3</sup> Valor medido: valor de uma grandeza que representa um resultado de medição (VIM).

<sup>4</sup> Resultados de medição: conjunto de valores que são atribuídos à mensuranda (VIM).

que faz uma medição. Como se vê o valor médio de 3  $x_i$  segue uma distribuição com desvio padrão que é inferior a  $\sigma$ :  $\langle s_3 \rangle = 0,17817 = \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$ . Logo a incerteza  $\Delta \bar{x}_3$  a associar ao valor médio  $\bar{x}_3$  não pode ser  $\sigma$  mas deve ser menor:  $\sigma/\sqrt{3}$ . Ao ensinar-se que a incerteza deve ser simplesmente o maior desvio à média escolhe-se a pior situação de todas: a Figura 2 mostra que este valor cresce sistematicamente com  $n$ , ultrapassando o próprio  $\sigma$  para  $n$  pequeno e, pior do que isso, tem uma enorme flutuação de valores que se mantém em vez de reduzir-se com  $n$ , como acontece com o desvio padrão da amostra  $s_n$ .

Estes conceitos serão discutidos e demonstrado que o uso do desvio máximo deve ser abandonado. Com este fim foi desenvolvida uma ferramenta em Excel que é usada nas aulas e será apresentada.

[1] Vocabulário Internacional de Metrologia, 1ª edição luso-brasileira, autorizada pelo [BIPM](#), da 3ª edição internacional do VIM, Instituto Português da Qualidade, 2012.

# DETERMINAÇÃO DA FORÇA ELETROSTÁTICA COM UM FIO DE ÁGUA

**Armando A. Soares<sup>1,2</sup>, Adelaide Andrade<sup>1</sup>, M. Duarte Naia<sup>1</sup>, L. Caramelo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ECT-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>2</sup>INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal.

E-mail de contacto: asoares@utad.pt

## RESUMO

Quando um fio de água é submetido a um campo elétrico, as moléculas de água tendem a alinhar-se com o campo elétrico. A interação da distribuição de carga elétrica das moléculas da água com o campo tem um efeito coletivo que pode ser descrito por uma força eletrostática. Se o campo elétrico for suficientemente forte, a força eletrostática pode fazer com que o fio de água se desvie em direção à região com o campo elétrico mais intenso.

Neste trabalho usamos os princípios da mecânica dos fluidos e a curvatura do fio de água para estimarmos a força electrostática criada por objetos eletrizados por fricção.

# HYDROMETERS: TECHNOLOGICAL INSTRUMENTS FROM THE 19TH CENTURY

**María Matilde Ariza Montes**

**IES “Pedro Espinosa”. Antequera-Málaga (Spain)**

E-mail de contacto: [marimon043@g.educaand.es](mailto:marimon043@g.educaand.es)

## ABSTRACT

Since the 19th century, distillers, winegrowers and brewers have used hydrometers to accurately measure the density of their products. Likewise, government inspectors have used them to verify the alcoholic strength of alcoholic beverage labels and, consequently, set the appropriate taxes. For this reason, aerometers became increasingly essential, which gave rise to science and industry to design a wide variety of these increasingly reliable, cheap and precise instruments so in demand in the fermented and distilled beverages sector.

This research tries to investigate the different types of centennial hydrometers as part of the 19th century technology so requested since the industrial revolution, taking as a starting point those housed at the IES “Pedro Espinosa”.

Once all the models have been examined and used without forgetting the calibration method, a classification has been proposed, in which it can be seen that the vast majority of hydrometers are used for a certain range of densities, with water being the only one reference of this listing.

[1] ARIZA MONTES, M. M. (2015) *Museo Virtual del IES “Pedro Espinosa*, Antequera (Málaga), España. Disponible en el enlace <http://museovirtualiespedroespinosa.blogspot.com/> Consultado el 19 de abril de 2024.

[2] BUCHANAN, J. Y., (1912) *Experimental Researches on the Specific Gravity and the Displacement of Some Saline Solution*, Edimburgo, Reino Unido.

[3] GIRES, F. ASEISTE. (2006). *L’Empire de la Phisique. Gabinet de physique du lycée Guez de Balzac d’Angoulême*, Niort, Francia.

# HYDROMETERS: TECHNOLOGICAL INSTRUMENTS FROM THE 19TH CENTURY

**María Matilde Ariza Montes**

**IES “Pedro Espinosa”. Antequera-Málaga (Spain)**

E-mail de contacto: [marimon043@g.educaand.es](mailto:marimon043@g.educaand.es)

## **ABSTRACT**

Since the 19th century, distillers, winegrowers and brewers have used hydrometers to accurately measure the density of their products. Likewise, government inspectors have used them to verify the alcoholic strength of alcoholic beverage labels and, consequently, set the appropriate taxes. For this reason, aerometers became increasingly essential, which gave rise to science and industry to design a wide variety of these increasingly reliable, cheap and precise instruments so in demand in the fermented and distilled beverages sector.

This research tries to investigate the different types of centennial hydrometers as part of the 19th century technology so requested since the industrial revolution, taking as a starting point those housed at the IES “Pedro Espinosa”.

Once all the models have been examined and used without forgetting the calibration method, a classification has been proposed, in which it can be seen that the vast majority of hydrometers are used for a certain range of densities, with water being the only one reference of this listing.

[1] ARIZA MONTES, M. M. (2015) *Museo Virtual del IES “Pedro Espinosa*, Antequera (Málaga), España. Disponible en el enlace <http://museovirtualiespedroespinosa.blogspot.com/> Consultado el 19 de abril de 2024.

[2] BUCHANAN, J. Y., (1912) *Experimental Researches on the Specific Gravity and the Displacement of Some Saline Solution*, Edimburgo, Reino Unido.

[3] GIRES, F. ASEISTE. (2006). *L'Empire de la Phisique. Gabinet de physique du lycée Guez de Balzac d'Angoulême*, Niort, Francia.

# SIMULAÇÃO DOS PADRÕES DOS SINAIS LUMINOSOS DOS FARÓIS

**Adelaide Andrade<sup>1</sup>, Armando A. Soares<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>ECT-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>2</sup>INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal.

E-mail de contacto: asoares@utad.pt

## RESUMO

Os faróis são reconhecidos pelo padrão único dos seus sinais luminosos que permite identifica-los e orientar os navios. A simulação dos padrões de sinais luminosos dos faróis pode ser uma ferramenta eficaz no ensino da física e do pensamento computacional. No estudo dos princípios da ótica geométrica, os alunos podem usar simulações para explorar como as lentes e os refletores óticos são usados para criar feixes de luz direcionados e concentrados. Além disso, os alunos podem usar a programação para criar suas próprias simulações, desenvolvendo competências de pensamento computacional, como a decomposição de problemas, o reconhecimento de padrões, abstração e algoritmia. Ao combinar a física e o pensamento computacional, os alunos podem melhorar a sua compreensão dos princípios científicos e das aplicações práticas da tecnologia [1].

Neste trabalho apresentamos uma atividade prática laboratorial que pode ser usada para simular o padrão dos sinais luminoso de alguns faróis.

[1] C. Vidal-Silva, J. Serrano-Malebran and F. Pereira, 2019. 38th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC), Concepcion, Chile, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/SCCC49216.2019.8966401.

# HISTÓRIA DA EVOLUÇÃO DOS FAROIS

**Adelaide Andrade<sup>1</sup>, Armando A. Soares<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> ECT-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>2</sup> INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal.

E-mail de contacto: asoares@utad.pt

## RESUMO

Faróis têm um papel crucial na orientação e segurança da navegação. A sua evolução está diretamente ligada à evolução tecnológica da aplicação dos princípios da ótica geométrica, que, por meio de lentes e refletores óticos, permite a criação de feixes de luz direcionados e concentrados. As lentes, com curvaturas cuidadosamente calculadas, refratam a luz, concentrando-a em uma direção específica. Esse processo de refração, associado aos refletores, permite que a luz alcance distâncias maiores e seja visível mesmo em condições de baixa visibilidade na direção desejada, facilitando assim a navegação marítima. Nos faróis atuais a luz é produzida por fontes de alta intensidade, como lâmpadas de halogénio ou LEDs. Muitos faróis possuem sistemas automáticos de controle e monitorização, equipados com sensores que detetam as condições atmosféricas e a visibilidade, permitindo que os faróis sejam ajustados de acordo com as necessidades. Cada farol tem um padrão único de sinais luminosos, e alguns deles também possuem sinais sonoros para alertar os navegadores sobre perigos iminentes.

Neste trabalho apresentamos uma revisão da evolução dos faróis tendo em conta a aplicação de princípios da ótica geométrica.



# VOO PARABÓLICO: EXPLORANDO A EQUIVALÊNCIA ENTRE GRAVIDADE E ACELERAÇÃO

**J. Jorge Teixeira<sup>1</sup>, Armando A. Soares<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Agrupamento de Escolas Dr. Júlio Martins, Chaves, Portugal.

<sup>2</sup>ECT-Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>3</sup>INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal.

E-mail de contacto: asoares@utad.pt

## RESUMO

Neste trabalho, apresentamos uma análise da aceleração no interior de um avião em voo parabólico. Os dados das acelerações foram obtidos através do sistema de registo automático do avião e de uma experiência que envolveu um acelerómetro de três eixos integrado num *Data Logger* portátil, ligado a uma calculadora gráfica. O avião realizou manobras para simular as acelerações da gravidade de Marte, da Lua e de microgravidade. As acelerações obtidas pelos dois métodos apresentam uma boa concordância entre si. As acelerações da gravidade de Marte, da Lua e de microgravidade também foram obtidas a partir dos registos da altitude do avião. Este estudo pode constituir uma ferramenta para melhorar a compreensão dos alunos sobre o conceito de força inercial e da equivalência entre gravidade e aceleração [1].

[1] Teixeira, J., Gonçalves, M. e Soares, A., Eur. J. Phys, 2024.

<https://doi.org/10.1088/1361-6404/ad4b75>

# CONCEÇÕES ALTERNATIVAS E MUDANÇA CONCETUAL SOBRE ENERGIA E FENÓMENOS ELÉTRICOS: UM ENSAIO COM ALUNOS DO 10º ANO

**X. M. Martins<sup>1\*</sup>, R. Vaz<sup>2</sup>, A. Calado<sup>1</sup>, J. L. Araújo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Educação e Psicologia, Universidade de Aveiro, Portugal

<sup>2</sup> Agrupamento de Escolas José Estêvão, Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> LEduC, CIDTFF, Departamento de Educação e Psicologia, Universidade de Aveiro, Portugal

\*E-mail de contacto: [xaviermmartins@ua.pt](mailto:xaviermmartins@ua.pt)

## RESUMO

Os conhecimentos construídos empiricamente são essenciais para a vida em sociedade, sendo a raiz da manutenção de normas sociais, cultura e, por vezes, impregnados de concepções erróneas. Estes têm uma grande rigidez mental devida à autenticidade oriunda das características estruturais intrínsecas ao seu processo de criação, o que confere um sentimento forte de segurança [1] e tornam-se resistentes à mudança, transformando-se em barreiras epistemológicas à desconstrução do conhecimento não científico para a reconstrução de um conhecimento já científico [2]. A eletricidade e a eletrónica são as bases sobre as quais a tecnologia moderna assenta e sobre as quais os alunos tendem a apresentar concepções alternativas, resultantes das suas experiências e observações. Assim, a investigação que aqui se apresenta almejou identificar as concepções de alunos (107) do 10.º ano de escolaridade de uma escola portuguesa, sobre eletricidade e circuitos elétricos e promover a mudança concetual. Um questionário foi adaptado e validado por especialistas [3], e aplicado como pré-teste, com o objetivo de fazer um levantamento das concepções alternativas referentes ao tema supramencionado. Posteriormente, 26 destes alunos participaram numa ação de mudança concetual (135 minutos) e responderam ao questionário (aplicado com pós-teste) para avaliar a eficiência da ação. Primeiramente, foi feita uma recolha de dados alargada nas turmas de Física e Química do 10º ano de escolaridade da escola através dum questionário anónimo e confidencial (em conformidade com o RGPD), que, através da análise de brilhos e comportamento dos componentes de circuitos disponibilizados, permitia identificar formas de pensamento dos alunos relativamente a este tema. De seguida, com base nos resultados do pré-teste, construiu-se uma atividade laboratorial que procurava promover a mudança concetual, que foi implementada apenas em uma das turmas. Finalmente, aos alunos desta turma aplicou-se o questionário, como pós-teste. Os resultados apresentam uma prevalência muito significativa de concepções alternativas presentes nos alunos, à semelhança do registado na literatura [4], sendo que a totalidade dos mesmos

aparenta demonstrar pelo menos uma dessas concepções (dentre os assuntos avaliados no questionário). Dessas concepções, as que aparentam uma maior predominância relacionam-se com o pensar de que a corrente elétrica tem uma dependência da ordem dos componentes e do sentido da corrente (CAI), com o entendimento da bateria como uma fonte de corrente elétrica constante (CAII), com o desgaste da corrente elétrica ao passar por componentes resistivos (CAIII) e com a relação direta do número de resistências com a redução da corrente, ignorando o arranjo das mesmas (CAIV). A atividade laboratorial implementada procurou promover mudanças conceituais, tendo demonstrado resultados positivos no que concerne à CAI, existindo a evidência de uma redução da sua prevalência inicial de aproximadamente 54% dos alunos para apenas 25% após a intervenção. A mesma conclusão verifica-se para a CAIII com uma redução da sua presença de cerca de 80% para cerca de 45% dos alunos. Assim, estes resultados revelam indicadores positivos relativos à estratégia implementada para a promoção de mudanças conceituais. Contudo, tendo já estas temáticas sido abordadas formalmente, parece-nos pertinente uma reflexão acerca das origens destas (e outras) concepções.

[1] Greca, I. M., Moreira, M. A. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(1), 31-57 (2002).

[2] Martins, I. P., Veiga, M. L., Tenreiro-Vieira, C., Vieira, R. M., Rodrigues, A. V., Couceiro, F. *Educação em ciências e ensino experimental: formação de professores* (2.<sup>a</sup> ed.). Ministério da Educação: Direção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular (2007).

[3] Dorneles, P. Araújo, I., Veit, E. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28 (4), 487-496 (2006).

[4] Andrade, F. A. L., Barbosa, G. F. B., Silveira, F. L., Santos, C. A. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3), e3406 (2018).

## **Aula Invertida: Aplicação ao movimento do paraquedista**

### **Flipped Classroom: Application to the parachutist movement**

**Eduardo F. M. Ribeiro, Luís Mendes Ferreira, Vera Landim, Telma Esperança <sup>1</sup>**

<sup>1</sup> CFisUC, Physics Department, University of Coimbra, R. Larga,

Coimbra 3004 - 516, Portugal

**E-mail de contacto:** luismendesferreira@gmail.com

#### **RESUMO**

A metodologia da Aula Invertida, visa enunciar uma estratégia de ensino que inverte em termos metodológicos a lógica organizacional do dito ensino tradicional. Nesta medida, a metodologia em questão, visa promover nos alunos uma nova forma de abordagem aos conteúdos curriculares, munindo os mesmos com os processos, os meios e as ferramentas necessárias para que os próprios possam angariar de forma autónoma e, ao seu próprio ritmo, a assimilação dos conhecimentos exigidos. Esta metodologia apresenta assim uma dinâmica motivadora, pautando-se pelo uso de recursos flexíveis, lúdicos e interativos, como a visualização de vídeos, a participação em jogos ou a realização de experiências e Quizzes. No entanto, em Física, verifica-se o risco da sua aplicação acentuar certas preconcepções dos alunos. Neste sentido, considera-se importante uma escolha adequada do tema a abordar com esta metodologia [1] [2].

No 11.º ano, no seguimento das Leis de Newton, são lecionados os movimentos retilíneos uniformes, uniformemente variados e variados, tendo em conta a resultante das forças sobre um corpo e as condições iniciais do movimento. A abordagem didática a este tópico é, em geral, feita pela aplicação da 2ª Lei de Newton. Considerando que eventuais preconcepções estarão, idealmente ultrapassadas, este tópico aparenta adequar-se à aplicação da Aula Invertida, contornando algumas das suas desvantagens [1] [3].

No âmbito da Unidade Curricular de Didática da Física II, apresentamos uma proposta de aplicação da Aula Invertida ao estudo de movimentos variados (não uniformemente), nomeadamente o movimento do paraquedista. Esta proposta, apesar de não ter sido aplicada, pretende enfatizar a importância da adequação das metodologias aos conteúdos lecionados, e vice-versa. Neste sentido, propor-se-á ao aluno que assista em casa, durante cerca de 20 minutos, à explicação em vídeo do professor sobre a implicação da 2ª lei de Newton nos movimentos retilíneos uniformes e uniformemente variados. Na segunda parte do vídeo, o professor introduz o conceito de movimento não uniformemente variado, solicitando ao aluno que visualize o movimento de um paraquedista, desde que salta do avião, até chegar ao solo. Posteriormente, o professor faz uma breve descrição do tipo de movimento físico envolvido antes e após a abertura do paraquedas, não esquecendo de referir as respetivas velocidades terminais. Já em sala de aula, o professor solicita aos alunos em grupo a interpretação de gráficos de posição-tempo e velocidade-tempo, referentes ao movimento de queda de um paraquedista. Após a realização da tarefa, parte-se para realização de uma atividade experimental complementar ao movimento do paraquedista, que consiste em determinar a velocidade terminal de um movimento real de um corpo com resistência do ar apreciável, através de um sensor de movimento ligado a uma calculadora gráfica. A experiência em questão, envolve pouco material, necessitando apenas do sensor, da calculadora, de um suporte e cabo de ligação e uma forma em papel, de queques ou balão com sementes. No final, com os dados gráficos recolhidos pela calculadora, pede-se aos alunos que interpretem o movimento de queda. Esta proposta, apesar de não ter sido ainda aplicada, pretende enfatizar a importância da adequação das metodologias aos conteúdos lecionados, e vice-versa [3].

**Palavras-chave:** Aula invertida, Ensino da física, Leis de Newton, Movimento do paraquedista.

#### **Referências**

[1] Angela, Eliane. Araujo, Ives Solano. Espinosa, Tobias. (2018). *Aula invertida (flipped classroom): Innovando las Clases de Física*. Revista de Enseñanza de la Física. Vol. 30, No. 2, pp 59-73.

[2] Carvalho, Ana Amélia A. (Org.). (2022). *Metodologias Ativas e Tecnologias Educativas Digitais*. Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

[3] Azevedo, Carlos. Cação, Alice. Maciel, Noémia. Magalhães, Andreia. Marques, M. Céu. *Física em ação 11*. Porto Editora.

# FÍSICA FORA DA SALA DE AULA COM SMARTPHONE

**F. Salzedas<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Física, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

<sup>2</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

E-mail de contacto: [fsal@fe.up.pt](mailto:fsal@fe.up.pt)

## RESUMO

O smartphone é o acessório ubíquo dos estudantes. Usado maioritariamente para entretenimento, várias das suas capacidades são desconhecidas, sendo comum encontrar na sala de aula estudantes com smartphone e calculadora gráfica, porque desconhecem a existência de aplicações que são calculadoras gráficas. Outro exemplo é o desconhecimento que o smartphone contém sensores como por exemplo, acelerómetro ou magnetómetro, dois dos mais comuns. Também desconhecem igualmente aplicações, gratuitas, seguras e de código aberto, que permitem aceder aos valores em bruto destes sensores, e até exportá-los para um computador pessoal, transformando os smartphones em instrumentos de medida e aquisição de dados.

Ajudar o estudante a explorar estas potencialidades do smartphone é importante. Permite levar a física para fora dos manuais, oferecendo a oportunidade de olhar para o smartphone como um minilaboratório que está sempre no seu bolso e pode ser usado fora da sala de aula, quando for oportuno.

Neste trabalho serão apresentadas propostas para alguns trabalhos de casa a atribuir aos estudantes. Será descrito como se pode medir, a orientação das linhas do campo geomagnético local, os campos magnéticos criados pelas linhas elétricas do metro do Porto, usando o magnetómetro do smartphone, e estudar as propriedades dum oscilador harmónico simples ou amortecido usando o acelerómetro.

# PERCEÇÕES DOS ALUNOS DO 10.º ANO ACERCA DA UTILIZAÇÃO DO CHATGPT – UM ESTUDO ACERCA DA SUA UTILIZAÇÃO NO ENSINO DA FÍSICA

**A. Calado<sup>1</sup>, R. Vaz<sup>2</sup>, X. M. Martins<sup>1</sup>, J. L. Araújo<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Educação e Psicologia, Universidade de Aveiro, Portugal

<sup>2</sup> Agrupamento de Escolas José Estêvão, Aveiro, Portugal

<sup>3</sup> LEduC, CIDTFF, Departamento de Educação e Psicologia, Universidade de Aveiro, Portugal

\*E-mail de contacto: [jlaraujo@ua.pt](mailto:jlaraujo@ua.pt)

## RESUMO

O ChatGPT 3.5 surgiu em 2022 como uma nova ferramenta gratuita de Inteligência Artificial (IA) que permite o acesso a informação, fornecendo textos elaborados sobre o tema pesquisado. Em Educação, o ChatGPT evidencia potencial em melhorar/facilitar a aprendizagem (apesar de ainda existirem muitas barreiras a ultrapassar) [1,2]. Sobre a Educação em Física, as poucas publicações existentes, focam-se, essencialmente nas suas aplicações no ensino superior [3], pelo que nos pareceu pertinente investigar as perceções que os alunos do ensino secundário em Portugal apresentam acerca do ChatGPT. Adicionalmente, tentou-se ainda compreender a forma crítica como os alunos utilizam as informações devolvidas pelo ChatGPT.

Na investigação participaram, voluntariamente, 24 alunos do 10.º ano. Um questionário foi desenvolvido e validado por especialistas para compreender as perceções dos alunos sobre o ChatGPT e como estes avaliam a fiabilidade das respostas obtidas e suas potencialidades/limitações. Este foi respondido sem que os alunos tivessem qualquer contacto formal com o ChatGPT na escola. Na sequência, os alunos, em grupos de 3-4 elementos, realizaram a atividade laboratorial “Movimento vertical de queda e de ressalto de uma bola”, em duas aulas de 135 minutos. Os dados experimentais foram tratados com recurso à calculadora gráfica e ao ChatGPT, no sentido de analisar criticamente os resultados obtidos dos dois modos. Os dados foram tratados em conformidade com o Regulamento Geral de Proteção de Dados.

Aproximadamente 70% dos alunos afirmaram utilizar o ChatGPT com frequência para realizar pesquisas, elaborar textos e resumos para trabalhos escolares e desses, cerca de 95% dos alunos consideravam as respostas do ChatGPT sempre adequadas e reproduziam essa informação diretamente nas tarefas escolares. Contudo, durante a intervenção os alunos foram confrontados com as “alucinações”, erros e incoerências do ChatGPT. Como consequência, vários alunos (cerca de 30%) que consideravam as respostas do ChatGPT “adequadas” e “corretas”, passaram a

confiar menos nas respostas obtidas, dizendo mesmo que “não é fiável” e que “elemente”. Mesmo assim, verificou-se que cerca de 70% dos alunos continuou a considerar as repostas do ChatGPT corretas. Relacionado com o tratamento dos dados experimentais, alguns alunos (8%), quando questionados sobre a forma como o ChatGPT pode melhorar o ensino da Física, responderam que “poderia ajudar se fizesse melhor cálculos matemáticos” ou se fornecesse alguns “dados científicos corretos”. Contudo, há duas respostas curiosas: dois alunos referem que esta disciplina carece da presença de um professor para explicar os conceitos e não apenas apresentá-los como faz o ChatGPT pelo que, não acham que seja uma ferramenta essencial ao ensino.

Os dados revelaram que a maioria dos alunos teve dificuldades em usar o ChatGPT para completar a exploração da atividade experimental, especialmente na análise de dados. Apesar disso, de todas as limitações encontradas, metade dos alunos refere continuar a confiar nas repostas do ChatGPT. Porém, outros mostraram-se cientes das limitações e necessidade de aperfeiçoamento desta ferramenta poderosa, na área de Matemática e da Física. Desta investigação destaca-se, em particular, a importância do desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos para a utilização da IA em prol da melhoria da sua formação.

[1] Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ..., Kasneci, G. *Learning and Individual Differences*. 103, 102274 (2023).

[2] Chiu, T., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C., Cheng, M. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100118 (2023).

[3] Ding, L., Li, T., Jiang, S., Gapud, A. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 63 (2023).

# SERÁ QUE O SOL RODA EM TORNO DA TERRA? – UMA PROPOSTA PARA O 7º ANO

**E. Martins<sup>1</sup>, S. Ribau<sup>1</sup>, T. Esperança<sup>1,2</sup>**

1 Departamento de Física da Universidade de Coimbra  
2 CFisUC, Department of Physics, University of Coimbra, Portugal  
E-mail de contacto: [edna321@live.com.pt](mailto:edna321@live.com.pt), [sararibau@gmail.com](mailto:sararibau@gmail.com)

## RESUMO

*Inquiry-based learning* é uma estratégia de ensino que visa promover a aprendizagem centrada no aluno, incentivando-o a colocar as suas próprias questões, a investigar sobre os problemas do mundo real e, assim, a estar ativo no processo de construção do seu próprio conhecimento [1-3].

Esta metodologia pode ser analisada em 4 níveis distintos de profundidade, desde o mais centrado no professor (fechado) até ao mais centrado no aluno (aberto): *Confirmation, Structured, Guided* e *Open* [4].

O *Structured Inquiry-Based Learning*, a estratégia escolhida para esta proposta, consiste na colocação de uma questão inicial, por parte do professor, juntamente com o procedimento, e os alunos são desafiados a explicar [4,5].

A primeira introdução dos alunos à Física é realizada no 7ºano, onde se observam dificuldades na aprendizagem de alguns conceitos do subdomínio: A Terra, a Lua e as forças gravíticas [6]. De modo a ultrapassar estas dificuldades e a aumentar a motivação e a compreensão, desenvolveu-se, no âmbito da Unidade Curricular de Didática da Física II, um desenho de uma proposta didática para a aplicação do *Structured Inquiry-Based Learning* no ensino dos movimentos de rotação da Terra e das suas consequências.

Partindo de quatro questões orientadoras: “Quais as consequências do movimento de rotação da Terra? Porque é que não é sempre dia? Porque é que não é sempre de noite? Será que o sol roda em torno da Terra, como parece ser?”, os alunos deverão analisar criticamente propostas de atividades, fornecidas pelo professor, selecionando a que, na sua opinião, melhor responderá às questões colocadas, justificando

Com a utilização desta estratégia pretende-se que os alunos aprendam os conceitos, desenvolvam capacidades de comunicação, de raciocínio e de pensamento crítico. A proposta de avaliação desta metodologia tem como base apresentações e documentos escritos que reflitam as conclusões retiradas pelos alunos.

- [1] Health, N., “Doing Science: The Process of Science Inquiry”. (2005)
- [2] Bell, T. “Collaborative inquiry learning: Models, tools, and challenges”. *International Journal of Science Education*, **3**: 349–377. (2010)



- [3] Bruner, J.S., "The act of discovery". *Harvard Educational Review* **31**: 21-32. (1961).
- [4] Banchi, H., Bel, R. "The many levels of Inquiry". *Science and Children*. (2008).
- [5] Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. "Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle". *Educational Research Review*. **14**: 47-61. (2015)
- [6] Kikas, E. "The impact of teaching on students' definitions and explanations of astronomical phenomena." *Learning and Instruction* **8**(5): 439-454. (1998).

# PROCOLER: LA ENSEÑANZA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES PRESENTADA EN UN SITIO WEB

**J. Mayorga Buchely<sup>1</sup>, V. Tricio Gómez<sup>2</sup>, N. Arias Ávila<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Licenciatura en Física, Universidad Distrital, Bogotá, Colombia – Egresada.

<sup>2</sup> Departamento de Física, Universidad de Burgos, España.

<sup>3</sup> Licenciatura en Física, Universidad Distrital, Bogotá, Colombia. – Jubilado.

E-mail de contacto: [jessicamayorga@lnst.edu.co](mailto:jessicamayorga@lnst.edu.co)

## RESUMEN

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han influido en los procesos de enseñanza-aprendizaje en la última década y en particular en los últimos años en consecuencia de los tiempos de pandemia. Por ello, ha sido necesario involucrarlas en el ámbito educativo a partir de la variedad de herramientas y elementos que las integran. Una de ellas es el acceso a la información por medio de espacios virtuales que contribuyen a la formación del estudiantado en nuevas formas de interacción en el aula y además brindan una alternativa complementaria para el docente.

Una propuesta didáctica para la enseñanza de las energías renovables (ER), está contemplada en la publicación titulada “Cartilla para la enseñanza de las Energías Renovables” [1], de la cual surge el proyecto de investigación PROCOLER (Proyecto Colaborativo en Energías Renovables). Este encamina la implementación de la cartilla a través de una metodología estructurada en diferentes etapas de ejecución, entre ellas, la creación de sitios web.

El presente trabajo muestra el diseño y la estructura de un sitio web, como parte de los objetivos y resultados del proyecto [2]. El sitio comprende cuatro secciones (Las fuentes de energías renovables, Sala de profesores, Sala de prensa y Sala de debate) que permiten brindar información general sobre las ER, además de incluir herramientas educativas para docentes y estudiantes. Sus secciones también ofrecen una actualización relacionada con la incorporación de material virtual de diferente índole para satisfacer las nuevas exigencias de la educación. El sitio se desarrolló en la plataforma Joomla! en su versión 3.7.3 [3].

[1] Arias Ávila, N. y Tricio, V. Cartilla para la enseñanza de las energías renovables. Burgos, España, Editorial Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional de la Universidad de Burgos. (2013).

[2] Mayorga Buchely, J., Arias Ávila, N., Tricio Gómez, V. Resultados del PROCOLER en un sitio web. VIII Tiberio. Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria. Habana, Cuba. (2019).

[3] Sánchez, J, Ruiz, J. Joomla!: La web en entornos educativos. Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de formación. [En línea], disponible en <https://docplayer.es/674631-Joomla-la-web-en-entornos-educativos.html> (2012).

# AUTONOMIA E DESCOBERTA: IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA ATIVA PUZZLE DE ARONSON NO ESTUDO DO SOM COMO UMA ONDA DE PRESSÃO

**C. Martins<sup>1</sup>, C. Santos<sup>2</sup>, P. Costa<sup>1</sup>, T. Esperança<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

<sup>2</sup> Escola Secundária Avelar Brotero, Coimbra

E-mail de contacto: [rodriguesmartins.cristiana@gmail.com](mailto:rodriguesmartins.cristiana@gmail.com)

## RESUMO

Os professores são frequentemente confrontados com alunos desmotivados e sem vontade de aprender, pelo que é essencial que o professor explore diferentes abordagens pedagógicas de forma a reverter o cenário registado [1, 2]. Assim, este estudo teve como objetivo averiguar o impacto da metodologia ativa Puzzle de Aronson na motivação dos alunos, bem como, investigar se a mesma permite que os alunos, do 11.º ano de escolaridade, alcancem aprendizagens significativas no estudo da onda sonora como uma onda de pressão, temática integrada no domínio “Ondas e Eletromagnetismo”.

O Puzzle de Aronson é um método pedagógico de aprendizagem colaborativa, onde os alunos são divididos em equipas, ou “grupos puzzle”, sendo que cada um deles se vai tornar o especialista de um determinado subtópico do assunto a tratar na aula. Numa primeira fase, cada aluno “especialista” do grupo inicial aprofunda individualmente o tema que lhe foi atribuído. Após este período, os alunos “especialistas” no mesmo tema, de todos os grupos iniciais, reúnem-se nos “grupos de especialistas” onde devem procurar aprofundar o seu conhecimento de uma forma colaborativa. De seguida, os alunos retornam aos seus grupos originais para explicar aos outros membros do grupo o que aprenderam [3].

O estudo foi conduzido com duas turmas do 11.º ano, de 25 e 27 alunos. Numa primeira fase procedeu-se à avaliação dos conhecimentos prévios e identificação de pré conceções dos alunos por meio de um pré-teste. Posteriormente, na aula de intervenção foi aplicada a metodologia do Puzzle de Aronson, seguida da realização de um pós-teste (igual ao pré-teste), cujos resultados, quando comparados com as respostas do pré-teste, demonstram uma melhoria significativa na compreensão dos conceitos abordados, ainda que tenha sido evidenciado a persistência de algumas pré conceções.

Adicionalmente, os alunos foram convidados a preencher dois questionários de opinião. A análise destes confirma um efeito positivo na percepção dos alunos em relação ao trabalho colaborativo, evidenciando a valorização da oportunidade da participação ativa no processo da aprendizagem.

Apesar das vantagens significativas desta metodologia ativa, foram identificadas limitações tanto na perspectiva do professor quanto na do aluno. Do ponto de vista dos professores, a implementação desta metodologia exige tempo e esforços consideráveis, o que pode não ser compatível com a realidade do professor. Na perspectiva do aluno, estes podem sentir uma pressão adicional, o que pode gerar ansiedade prejudicando o seu envolvimento e aprendizagem. A falta de feedback individualizado é um fator que contribui para a dificuldade na identificação das áreas de melhoria por parte do aluno. Ainda é de salientar que alguns alunos apontem a explicação do colega especialista como um ponto negativo. Tal pode advir de dois fatores: o de alguns alunos terem dificuldade em explorar, por eles, temas com já alguma complexidade conceitual; e da possível dificuldade de alguns deles em expressar as suas ideias de forma clara e coerente, aliado a limitações na capacidade de resumo e seleção.

Conclui-se que as limitações observadas advêm da combinação da complexidade dos conceitos aliado a competências de comunicação insuficientes.

# DESCRIÇÃO DA QUEDA DE UMA MOLA REAL COM O MODELO DE MOLA IDEAL

João MC Santos<sup>1</sup>, João AN Esteves<sup>1</sup>, Luís JM Amoreira<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade da Beira Interior

<sup>2</sup> LIP - Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

<sup>3</sup> CMAUBI - Centro de Matemática e Aplicações da Universidade da Beira Interior

E-mail de contacto: [amoreira@ubi.pt](mailto:amoreira@ubi.pt)

## RESUMO

Vários vídeos disponíveis na plataforma YouTube mostram a queda de uma mola elástica a partir de uma situação de repouso estático em que ela se encontra na vertical, suspensa da sua extremidade superior [1]. Estes vídeos são interessantes porque mostram a extremidade inferior da mola como que a aguardar que a extremidade superior a atinja, antes de começar o seu movimento de queda propriamente dito.

A explicação deste comportamento é dada pela elasticidade da mola. A onda de deformação gerada na extremidade superior da mola no instante em que ela é solta e inicia o seu movimento propaga-se longitudinalmente com uma velocidade finita, e só quando atinge a extremidade inferior, alterando aí o estado de deformação inicial, se modifica o equilíbrio de forças (peso e força elástica) que mantinham esta extremidade em repouso.

Claramente, o modelo elementar de mola ideal, em que se despreza a sua massa, é insuficiente para enquadrar esta explicação, uma vez que (1) não tendo massa, não tem inércia; logo, a sua deformação é sempre uniforme, o que significa que a força elástica sobre a extremidade inferior altera-se instantaneamente assim que a extremidade superior inicia a sua queda; (2) não tendo massa, a mola não tem peso, ou seja, nem sequer cai! Mas será possível dar conta do comportamento das molas reais ilustrado nos vídeos referidos considerando molas ideais com massas distribuídas regularmente ao longo do seu comprimento?

Neste trabalho analisa-se o numericamente (usando a linguagem Python e as bibliotecas Numpy e Scipy [2]) o movimento de queda de um sistema formado por  $N$  massas iguais ligadas sequencialmente por molas iguais. Esta análise foi verificada experimentalmente usando uma mola real de aço e bolas de ténis como massas, para os casos  $N = 2$  e  $N = 3$ . A queda deste sistema foi registada em

vídeo a 120 fps e analisada com o programa Tracker [3] para recolher as posições das diferentes massas como funções do tempo.

Verifica-se que a queda das molas reais pode de facto ser aproximada com este modelo e que, como seria de esperar, a aproximação é tanto melhor quanto maior for  $N$  (mantendo constante a massa total e as características de elasticidade da mola).

Consideramos que este trabalho permite identificar claramente os elementos essenciais do modelo de mola ideal e pôr em evidência situações em que ele é inapropriado. Parece-nos um problema adequado para mostrar a necessidade de uma descrição contínua da deformação e tensão das molas em situações em que a própria dinâmica das molas é relevante, e para ilustrar essas descrições contínuas (teorias de campo) como limite de teorias discretas em que o número de elementos do sistema em análise (logo, de graus de liberdade) tende para um infinito não numerável.

[1] YouTube (<https://www.youtube.com/watch?v=uiyMuHuCFo4>)

[2] Python (<https://www.python.org/>); Numpy (<https://numpy.org/>); Scipy (<https://scipy.org/>)

[3] Tracker (<https://physlets.org/tracker/>)

# ASTRONOMIA: INTERDISCIPLINARIDADE NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

Álvaro Folhas<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> NUCLIO-Núcleo Interativo de Astronomia e Inovação em Educação

<sup>2</sup> FPCEUC - Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação da Universidade de Coimbra

<sup>3</sup> CITEUC – Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra

E-mail de contacto: [alvaro.folhas@gmail.com](mailto:alvaro.folhas@gmail.com)

## RESUMO

São crescentes os desafios colocados à Educação em Ciências para a construção de uma sociedade cientificamente informada, capaz de decisões sustentadas no conhecimento, e da preparação de quadros qualificados capazes de responder às necessidades do futuro[4]. Neste contexto importa a construção de significados que liguem os conceitos à realidade dos alunos. Assim a interdisciplinaridade surge como um farol capaz de permitir explorar o conhecimento de forma mais ampla e profunda. Através dela, rompemos as fronteiras artificiais entre as disciplinas, tecendo um tapete rico de saberes que nos permite compreender o mundo, de forma holística, com maior clareza e entusiasmo, fortalecendo também o entendimento disciplinar conceptual. Para além do domínio cognitivo, a interdisciplinaridade estimula ainda o pensamento crítico, promovendo o desenvolvimento de habilidades transversais, essenciais para o século XXI.

A Astronomia, como área científica que abraça diferentes áreas do saber, oferece oportunidades ímpares para a interdisciplinaridade no ensino das ciências, despertando o interesse dos alunos e incentivando a sua curiosidade [1]. Explorar o Universo, e as manifestações do seu comportamento, não só enriquece a compreensão científica dos fenómenos físicos, mas apela ainda ao sentido estético e filosófico, estimulando a criatividade e o pensamento crítico. Oferece ainda um fantástico campo de análise exploratória, permitindo colocar o aluno no papel de investigador, produzindo nova Ciência e apreendendo o que é Ciência, e como se faz Ciência [3].

Desenvolver atividades baseadas em Astronomia está ao alcance de qualquer escola, tenha ou não telescópios. A simples exploração do comportamento da sombra de uma vara vertical ao longo do dia, permite determinar uma miríade de informações, mobilizando conceitos de Física, mas também de Matemática, de Geografia e até de Ciência Naturais. Podemos determinar o meio-dia solar, a altura máxima do Sol, a orientação do meridiano Norte-Sul, e a latitude do lugar. Acrescentando ferramentas como o Stellarium e o Google Maps, os alunos podem ainda determinar a longitude e o perímetro terrestre (experiência de Eratóstenes) em qualquer dia do ano.

A participação das escolas portuguesas em campanhas de pesquisa de asteroides é simultaneamente uma forma dos alunos darem o seu contributo ao conhecimento do Sistema Solar, acrescentando as suas descobertas aos catálogos do Minor Planet Center (MPC), mas também para a Defesa Planetária, detetando Objetos Próximos da Terra (NEOs) cujo risco de impacto com a Terra representa uma ameaça de desastre potencialmente catastrófico. Por isso foram assinalados pelas Nações Unidas que decretou o dia 30 de junho como **Dia Internacional do Asteroide**. O programa IASC<sup>1</sup> [2] é um programa educativo patrocinado pela NASA<sup>2</sup> iniciado em 2006, tendo o o NUCLIO aderido de imediato em 2007, dinamizando nas escolas portuguesas, em média, cinco campanhas por ano, cada uma com cerca de 250 participantes, e contando até ao momento com milhares de descobertas preliminares, das quais cerca de 200 asteroides monitorizados pelo MPC. Três deles (Lusitano, Fado, 2012 KD19) figuram nas bases de dados como asteroides de órbita perfeitamente conhecida.

## Referências

- [1] Folhas, A., Costa, A., Doran, R. (2023). “Campanhas de pesquisa de asteroides: aprender ciência fazendo ciência”. In Conselho Nacional de Educação (CNE) (Eds.), *DICA: Divulgar, Inovar, Colaborar, Aprender – 2023* (pp. 262-275). [https://www.cnedu.pt/content/DICA/DICA\\_2023/Vivencias\\_2023/Campanhas\\_de\\_pesquisa\\_de\\_asteroides-aprender\\_ciencia\\_fazendo\\_ciencia.pdf](https://www.cnedu.pt/content/DICA/DICA_2023/Vivencias_2023/Campanhas_de_pesquisa_de_asteroides-aprender_ciencia_fazendo_ciencia.pdf)
- [2] Miller, J. P. (2018). International Astronomical Search Collaboration: An Online Outreach Program in Astronomical Discovery for High School & College Students. *RTSRE Proceedings*, 1(1), <https://rtsre.org/index.php/rtsre/article/view/27>
- [3] Maciel, N., Marques, M.C., Azevedo, C., Cação, A., Magalhães, A. & Folhas, Á. (2023). *Física em Ação - Física 12.ºano*. Porto Editora.
- [4] OECD Future of Education and Skills 2030—OECD Future of Education and Skills 2030. (2021, julho 14).<https://www.oecd.org/education/2030-project/>

<sup>1</sup> International Astronomical Search Collaboration

<sup>2</sup> NASA- National Aeronautics and Space Administration

# MOVIMENTO NUM PLANO INCLINADO: VARIAÇÕES DE ENERGIAS CINÉTICA, POTENCIAL GRAVÍTICA E MECÂNICA

Ana Tavares Sousa <sup>1</sup>, Rui Agostinho <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola Secundária do Restelo do Agrupamento de Escolas do Restelo

E-mail de contacto: [anatsousa@aerestelo.pt](mailto:anatsousa@aerestelo.pt)

<sup>2</sup> Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

E-mail de contacto: [rjagostinho@fc.ul.pt](mailto:rjagostinho@fc.ul.pt)

## RESUMO

Na componente de Física do 10º ano explora-se experimentalmente a variação da energia cinética de um corpo em função da distância,  $d$ , percorrida num plano inclinado, AL 1.1 [1]. Larga-se um carrinho (assumindo  $v_i = 0 \text{ m s}^{-1}$ ) de várias posições numa rampa e, com uma fotocélula, mede-se a velocidade com que este atinge o final da rampa. Com os dados os alunos fazem uma regressão linear de  $\Delta E_c = f(d)$  e obtêm a resultante das forças que atuam no carrinho, que é o declive da reta de ajuste.

Para explorar mais conceitos teóricos sobre os teoremas de trabalho e energia, pediu-se ainda aos alunos que medissem a altura de cada posição de largada,  $h_i$ , e o ângulo de inclinação da calha,  $\alpha$ , medições que podem ter uma menor precisão. Com estes dados calculou-se a variação de energia potencial gravítica,  $\Delta E_p$ , por dois métodos: a partir da variação de altura e a partir do trabalho da força gravítica, usando  $\alpha$ . A partir de  $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$  obteve-se a variação de energia mecânica,  $\Delta E_m$  e a intensidade da resultante das forças não-conservativas. Os valores obtidos para  $\Delta E_m$  são ligeiramente diferentes consoante o processo usado para determinar  $\Delta E_p$ . Podem surgir valores de  $\Delta E_m > 0$ , indicando a existência de velocidade inicial.

Abordam-se várias formas de calcular e corrigir a medição do ângulo, das alturas de largada e das distâncias percorridas na rampa; discute-se a validade e os erros inerentes a cada método de cálculo. Recolheram-se dados desta atividade feita em sala de aula por alunos, entre 2015 e 2024, com fotocélulas da PASCO, obtendo-se resultados consistentes ao longo dos anos, o que permitiu desenvolver uma exploração mais abrangente desta atividade experimental e desenvolver o espírito crítico dos alunos, através da análise e discussão de dados e resultados.

O objetivo deste trabalho é dar mais um contributo para a exploração que se pode fazer da atividade AL 1.1 da Física de 10º ano.

[1] DGE, Aprendizagens Essenciais, Física e Química A, 10º ano (2018)



# GAMIFICAÇÃO NO ENSINO DO DOMÍNIO DE ENERGIA, EM FÍSICA

C. Saragoça, L. Paulo, T. Esperança<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física da Universidade de Coimbra

E-mail de contacto: [carlasaragoça@gmail.com](mailto:carlasaragoça@gmail.com); [lilianapaulop8@gmail.com](mailto:lilianapaulop8@gmail.com)

## Resumo:

No âmbito da Unidade Curricular de Didática da Física II, desenvolveu-se uma proposta para aplicação da Gamificação como uma estratégia ativa no processo de ensino-aprendizagem, na disciplina de físico-química, para o ensino básico – 7º ano de escolaridade. Analisando os resultados nacionais de 2023, presentes no relatório do IAVE <sup>[1]</sup>, referentes ao domínio energia e ao subdomínio fontes de energia e transferências de energia, verifica-se que 95,8% dos alunos não conseguiram ou não responderam, às questões associadas a este domínio. Perante estes resultados, propõe-se a utilização desta ferramenta, com o propósito de se alcançar aprendizagens eficazes dentro das aprendizagens essenciais <sup>[2]</sup> do domínio descrito, mas também com o objetivo de mudança de comportamentos e atitudes relativos à física. Com esta estratégia visa-se então, envolver e motivar os alunos para a aprendizagem dos conteúdos, especificamente no domínio da energia, levando-os a entender que a Física está presente no quotidiano, permitindo assim um contexto real para aplicação dos conhecimentos de um modo eficaz. Desenhou-se esta proposta de estratégia didática baseada na Gamificação, através do mundo virtual, contemplando elementos conhecidos de jogos, mas no contexto de uma situação educacional <sup>[3]</sup>. Pretende-se estimular a participação dos alunos, na sala de aula, numa duração mínima de 30 minutos, de forma individual ou trabalho entre pares, onde fazem uso de ferramentas digitais que podem proporcionar emoções, desafios e diversão <sup>[4]</sup>, que poderá ter impacto na assimilação de conteúdos. Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas na Gamificação, isoladamente ou em conjunto, e que permitem preparar e dinamizar atividades, de acordo com o que se pretende estimular nos alunos (descoberta, recompensa, incerteza, competição, feedback imediato ou autonomia) <sup>[4]</sup>. Após revisão da literatura, apresentamos uma proposta para a utilização da ferramenta de Escape Room para a lecionação do domínio de energia, que poderá ser inovadora no mundo virtual, onde visa ensinar conteúdos do domínio referido, mas também elencar temáticas de sustentabilidade do planeta, a estas aprendizagens essenciais. Nesta proposta o objetivo global será “salvar o planeta azul”, que através dos vários desafios propostos, e das escolhas acertadas façam a utilização racional da energia e contribuam para a sustentabilidade do planeta Terra.

## Referências bibliográficas:

[1] Provas de Aferição do Ensino Básico 2023 - Resultados Nacionais consultado a 30/04/2024 ([https://iave.pt/wp-content/uploads/2024/01/Relato%CC%81rio-Provas-de-Aferic%CC%A7a%CC%83o\\_Resultados-Nacionais\\_2023.pdf](https://iave.pt/wp-content/uploads/2024/01/Relato%CC%81rio-Provas-de-Aferic%CC%A7a%CC%83o_Resultados-Nacionais_2023.pdf))

[2] Aprendizagens Essenciais de 7.º Ano | 3.º Ciclo do Ensino Básico Físico-Química consultado a 30/04/2024 ([https://dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto\\_Autonomia\\_e\\_Flexibilidade/ae\\_3oc\\_7\\_fisico-quimica.pdf](https://dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/ae_3oc_7_fisico-quimica.pdf))

[3] Carvalho, A. (2020). Aplicações para dispositivos móveis e estratégias inovadoras na educação. Ministério da Educação, Direção-Geral da Educação

[4] Carvalho, A. (2022). Metodologias Ativas e Tecnologias Educacionais Digitais. Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA).

# VISUALIZACIÓN DE ELECTRONES EN UNA CÁMARA DE NIEBLA CON UN TUBO DE RAYOS CATÓDICOS. UNA PROPUESTA PARA REALIZAR EN EL AULA.

**J. Pozuelo-Muñoz<sup>1</sup>, L. Ranz<sup>2</sup> E. Cascarosa-Salillas<sup>1</sup>, E. Terrado-Sieso<sup>1</sup>, A. De Echave-Sanz<sup>1</sup>, Rodríguez-Casals<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Educación (Grupo Beagle e Instituto IUCA). Universidad de Zaragoza (España).

<sup>2</sup> Instituto de Educación Secundaria Clara Campoamor Rodríguez. Zaragoza. España.  
E-mail de contacto: [jpozuolo@unizar.es](mailto:jpozuolo@unizar.es)

## RESUMO

La cámara de niebla es un instrumento sencillo y muy eficaz en la detección de partículas. Este instrumento es fácil de replicar con materiales sencillos y hay muchas guías que facilitan su diseño y construcción [1]. Estas razones hacen que cada vez sea más habitual que los profesores de física de secundaria y primeros cursos universitarios utilicen la cámara de niebla en sus clases [2]. Las cámaras de niebla suelen ser utilizadas para observar partículas de radiación ambiente [3]. También se realizan experiencias con muestras radiactivas de laboratorio [4]. Ambos casos son muy enriquecedores, pero generan algunos problemas. Por un lado, no existe control sobre las partículas que interactúan en el caso de la radiación natural. Por otro lado, las fuentes de radiación artificiales implican algunos problemas logísticos, dado que existen dificultades para su adquisición y presentan un coste elevado. Por otro lado, los protocolos de seguridad de los centros educativos no siempre permiten utilizar este tipo de muestras. Un instrumento que puede ayudar es el tubo de rayos catódicos.

En esta investigación, se ha utilizado un tubo de rayos catódicos para comprobar si el haz de electrones generado es visible en la cámara de niebla. También se realizaron pruebas, introduciendo barreras intermedias entre el tubo y la cámara de niebla. Se observó nítidamente la interacción de los electrones generados por el tubo de rayos catódicos con la cámara de niebla. También se observaron las diferencias en el número de trazas de los electrones al introducir barreras de diferentes materiales y espesores. De esta forma, la combinación de ambos dispositivos evita las dificultades asociadas al uso de fuentes radiactivas en los centros educativos y permite realizar experimentos controlados en la visualización de las trazas. Esto abre nuevas posibilidades para trabajar la física moderna en las aulas de secundaria y primeros cursos universitarios.

[1] Barradas-Solas, F., Alameda-Meléndez, P., Science in School, 14, 36-40 (2010)

- [2] Andrade, A. F., Souza, L. W., Perini, A. P., Neves, L. P., *European Journal of Physics*, 45(2), 025703 (2024)
- [3] Geske, M., Murray-Weston, C., Lelack, G., *The Physics Teacher*, 60(6), 498-500 (2022)
- [4] Souza, L. W., Perini, A. P., Neves, L. P., *European Journal of Physics*, 45(2), 025702 (2024)

## DEMOSTRACIONES EN CAÍDA LIBRE

### P. Cassinello

Departamento de Física y Química de IES “Diego Velázquez”. Torrelodones (Madrid), España. (Miembro de la DEDF)

[pbcassi@gmail.com](mailto:pbcassi@gmail.com)

Muchos alumnos creen que los cuerpos más pesados caen más deprisa que los ligeros (desde misma altura y sin rozamiento). También piensan que en caída libre (y en órbita) hay ingravidez. Y no tienen claro qué es la velocidad terminal en caída. Para aclarar todas estas ideas preconcebidas y no bien establecidas, proponemos demostraciones sencillas que pueden realizarse en la propia aula.

### Objetivos

Mejorar la comprensión y atracción de la Física e impulsar vocaciones científicas.

Aclarar mediante demostraciones sencillas ideas equivocadas sobre la caída de los cuerpos

### Metodología y Desarrollo

El primer bloque de experiencias trata de demostrar que Galileo estaba en lo cierto, que todos los cuerpos, independientemente de su masa y si no hay rozamiento con el aire, caen al unísono desde una misma altura. Primeramente, se verá con una pluma y una bola en una campana de vacío. Después se constatará con bolas de muy distinto peso, minimizando el rozamiento mediante poca altura y con bolas de aproximadamente mismo volumen. Pero, justificaremos que si caen desde una altura considerable lo hace antes la de mayor masa, porque la resistencia del aire, aunque es igual para las dos bolas no supone lo mismo. Es un porcentaje elevado del peso del objeto más ligero.



En un segundo bloque se mostrará mediante una bola de porexpán en un tubo que los cuerpos en caída pueden alcanzar una velocidad uniforme llamada velocidad terminal. Se incluirán datos de estas velocidades de distintos cuerpos. Por ejemplo, para el caso de un especialista humano que cae libremente desde un avión tiene un valor aproximado de 200 km/h [1].



Y finalmente, en un tercer bloque se explicará en qué consiste el estado de ingravidez de los cuerpos en caída libre y en órbita. En rigor, no debería denominarse así porque tanto en caída libre como en órbita la gravedad no es en absoluto cero. En caída libre es aproximadamente  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Y en órbita, el valor de  $g$  tampoco es cero. Por ejemplo, en la Estación Internacional a unos 400 km de altura el valor es  $g = 8,96 \text{ m/s}^2$ . Lo que ocurre es que la fuerza de gravedad no produce acercamiento relativo o unión entre cuerpo y suelo porque ambos

caen. En estas circunstancias, una persona experimenta una sensación de carencia de peso porque no está sostenido por las piernas y la región pélvica. Hemos diseñado tres experimentos para mostrar lo que ocurre en este estado de supuesta ingravidez. Son experiencias sencillas en el aula o en el laboratorio, para probar que en caída libre no se nota o manifiesta el peso, es decir, que parece no existir.

### **Conclusiones**

Pueden realizarse sencillas demostraciones en el aula para aclarar diversos malentendidos acerca de la caída libre de los cuerpos. Contribuyen a aumentar la motivación del estudiante y la mejora en la calidad de la enseñanza de la Dinámica.

### **Referencias**

- [1]. Paul Hewitt. *Física conceptual*. Editorial Pearson . 3ª Edición . 1999. p. 69

# TRE: Problemas sencillos en un marco cuatridimensional

Juan Tomé Escribano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Catedrático de Enseñanza Secundaria, jubilado

\*e-mail: casa@amonaria.com

## Resumen

La TRE alteró radicalmente la concepción clásica de la realidad física al mostrar que espacio y tiempo se integran en el espaciotiempo, lo que tiene como consecuencia inmediata que las categorías de «objeto tridimensional» y de «tiempo unidimensional» dejen de tener sentido por separado. Sería coherente con eso describir, explicar e interpretar los fenómenos relativistas prescindiendo de esas dos categorías y sustituyéndolas por una sola de carácter cuatridimensional que las integrara. Es lo que se hace al concebir la realidad física como universo de procesos [1], con los procesos (colecciones de cambios causalmente concatenados) como entidades físicas básicas cuya propiedad fundamental es la duración.

En esa concepción, las líneas de universo representan procesos de distintas direcciones de cambio. La oblicuidad de dos procesos implica sucesión de distancias espaciales cambiantes, lo que se manifiesta como movimiento relativo. La velocidad relativa puede relacionarse con el ángulo  $\alpha$  que forman las líneas de universo de dos procesos oblicuos en representaciones minkowskianas planas.

El Sistema de Referencia de Simetría (SRS) de dos procesos rectilíneos es aquel en que son simétricos. En él, la relación entre  $\alpha$  y  $v_{\text{rel}}$  es muy sencilla:  $\text{sen}\alpha = v_{\text{rel}}/c$ , de donde se sigue inmediatamente que  $\text{cos}\alpha = \gamma^{-1}$ . Además, el SRS tiene la singular propiedad [2] de que sus representaciones minkowskianas (necesariamente euclídeas sobre el papel) reflejan fielmente las relaciones de desigualdad (pseudoeuclídeas) entre las magnitudes espaciotemporales representadas, lo que facilita mucho la resolución de problemas cinemáticos de la TRE y la interpretación cuatridimensional de sus resultados.

Esta ponencia intenta mostrar que la concepción de la realidad física como universo de procesos y la resolución de problemas en el SRS tienen mucho interés para la introducción a la TRE, sea en contextos de enseñanza o divulgación.

[1] Tomé, J., Relatividad Especial: una interpretación del fenómeno de la “dilatación temporal”, *Revista Española de Física* 35-2, 7-11 (2021).

[2] Tomé, J., Adelantamiento de trenes en el espaciotiempo, *Revista Española de Física*, 36-4, 10-15 (2022)

# TRABALHO PERDIDO E EXERGIA: DUAS VISÕES DO MESMO CONCEITO

**J. Anacleto**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> IFIMUP, Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. do Campo Alegre s/n, 4169-007 Porto, Portugal

<sup>2</sup> Departamento de Física, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5000-801 Vila Real, Portugal

E-mail: anacleto@utad.pt

## RESUMO

A Termodinâmica é uma área da Física onde as subtilezas abundam. Se estas subtilezas, por um lado, tornam a Termodinâmica fascinante, por outro, quando não devidamente entendidas e exploradas, tornam o ensino e a aprendizagem tarefas, no mínimo, desmotivadoras. Além disso, as dificuldades conceptuais e pedagógicas na Termodinâmica são acentuadas por um excessivo número de conceitos, definições e termos, apresentados por vezes de forma imprecisa e em contextos particulares, comprometendo uma visão integradora da teoria. Alguns conceitos são mesmo questionáveis porque se revelam equivalentes a outros tidos como diferentes, originando uma estrutura conceptual difícil de entender. Neste contexto, situam-se os conceitos de *trabalho perdido* e *exergia*.

Esta comunicação apresenta os resultados de um trabalho já publicado [1], onde se mostra que o conceito de *exergia* é idêntico ao conceito de *trabalho perdido*, ainda que visto numa perspectiva diferente. Este último é mais abordado em manuais de Física, enquanto a *exergia* aparece fundamentalmente em manuais de Engenharia, uma disciplina onde a Termodinâmica tem importantes aplicações. As diferenças e semelhanças entre *exergia* e *trabalho perdido*, bem como as suas definições, não têm sido tratadas claramente na literatura, uma lacuna que este estudo pretende colmatar, adotando uma abordagem lógico-matemática e o seu inerente espírito crítico, em vez de aceitar tacitamente as dificuldades como subtilezas e de criar representações baseadas na intuição.

Como elementos essenciais da Termodinâmica temos a *equação fundamental* para um processo, a *geração de entropia* e o *trabalho dissipativo* [1], constituindo invariantes da teoria. Apesar da equação fundamental conter toda a informação

termodinâmica sobre o processo, para estabelecer os conceitos de *calor*, *trabalho* e *trabalho perdido*, é necessário especificar onde a irreversibilidade ocorre, porque esta localização é intrinsecamente indeterminada. A assunção habitual em Física é a de que a irreversibilidade está no sistema, o que é o mesmo que considerar a vizinhança constituída por reservatórios, sendo o trabalho perdido convertido em energia interna no sistema. Contudo, a Engenharia tem uma perspetiva teórica diferente, considerando que a irreversibilidade se localiza na vizinhança, onde aí o trabalho perdido é convertido em energia interna. Neste caso, o trabalho perdido é designado por exergia [2, 3]. Estas duas diferentes abordagens originam algumas confusões conceptuais na ligação da Física com a Engenharia. Para além da importância teórica, a visão global e integradora dos conceitos que este estudo promove tem um importante papel didático-pedagógico, evitando dificuldades, confusões e mal-entendidos que são comuns no estudo da Termodinâmica.

## **AGRADECIMENTOS**

À FCT e ao IFIMUP, no âmbito dos projetos UIDB/04968/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04968/2020>) e UIDP/04968/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDP/04968/2020>).

- [1] J. Anacleto, *European Journal of Physics*, 45, 025101 (2024)
- [2] Y. A. Çengel, M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 8ª edição. McGraw-Hill (2015)
- [3] M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner, M. D. Bailey, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 7ª edição. John Wiley & Sons (2011)



# ENSEÑAR ENERGÍA GEOTÉRMICA MEDIANTE FICHAS DIDÁCTICAS 2

**A. Gayol<sup>1</sup>, V. Tricio<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidad Francisco de Vitoria, Facultad de Derecho, Empresa y Gobierno, 28223 Pozuelo de Alarcón, España

<sup>2</sup> Departamento de Física, Universidad de Burgos, Plaza de Misael Bañuelos s/n, 09001 Burgos, España

E-mail de contacto: [anagayol.congresos@gmail.com](mailto:anagayol.congresos@gmail.com)

## RESUMO

En las últimas décadas, la educación ha pretendido adaptarse a los rápidos cambios surgidos en la sociedad, especialmente en relación con la actual coyuntura medioambiental, la necesidad de utilizar la energía de manera eficiente, así como cambiar a fuentes de energía limpias para transportar, calentar o enfriar [1]. En esa adaptación se hace necesario incorporar en las aulas la innovación didáctica y el uso de las TIC, que favorezcan el aprendizaje activo de los estudiantes.

De entre las renovables, la energía geotérmica es la menos conocida por los niños y jóvenes estudiantes, además de por la población en general, lo que supone para las autoras de este trabajo una motivación añadida para introducir esta temática en la formación de los alumnos más jóvenes.

Incorporar la energía geotérmica como tema educativo, implica abordar un amplio campo de contenidos así como los recursos didácticos convenientes, entre los cuales la ficha didáctica está considerada una técnica muy útil en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que busca individualizar la enseñanza [2], [3].

La principal intención de la presente ponencia es acercar a los estudiantes en el conocimiento de algunos tópicos de dicha materia. Este trabajo se centra en la energía geotérmica proponiendo el método de fichas didácticas.

Se presentan un diversidad de materiales didácticos con un enfoque CTSA y multidisciplinar, elaborados por las autoras y agrupados en formato de “fichas” [4], con el propósito de ofrecer contenidos sobre energía geotérmica y temas afines, preparados para los diversos niveles educativos desde la educación primera hasta la universitaria.

En la Tabla I, se presenta una muestra de ellas, con el título de alguna de las fichas y la etapa formativa a la que van dirigidas.

<b>Tabla I. Fichas didácticas para energía geotérmica (EG)</b>	
Título	Etapa
¿Qué sabemos de...? una fumarola	Infantil
Rompecabezas de las energías.	Primaria

La EG y sus aplicaciones	1º ESO
Energía geotérmica, su origen y utilización	2º ESO
Energía geotérmica	3º ESO
Energía geotérmica: conoce tu entorno.	4º ESO
Análisis crítico de una nota de prensa.	1º BAC
Debate energía geotérmica frente al efecto invernadero	2º BAC
Bomba de calor geotérmica	GRADO
Participación de la EG en los planes de energía renovables	GRADO

[1] Agencia Europea del Medio ambiente (2017). La energía y el cambio climático, 25 de septiembre de 2017, <https://n9.cl/zljx6>, (2017).

[2] Arias, N., & Tricio, V., Energías renovables: una propuesta para su enseñanza. Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, 8(3), 487. (2014).

[3] Gayol, A., & Tricio V., Fichas sobre biomasa para diferentes niveles educativos, pp.245-256, ISBN 978-84-1124-264-6. Editorial Thomson Reuters Aranzadi. (2022)

[4] Gayol, A., & Tricio, V., TIC y gamificación sobre energía geotérmica, Editorial Tecnos, ISBN 978-84-309-8753-5, capítulo 8, 51-66. (2023)

# UNA PROPUESTA ALTERNATIVA DE CONTENIDOS EN ESTUDIOS CTS RELATIVOS A LA FÍSICA

**Pablo Soler Ferrán<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Investigador Independiente

E-mail de contacto: [ferranpablo@gmail.com](mailto:ferranpablo@gmail.com)

## RESUMO

Desde el último tercio del siglo XX se han venido implantando en la comunidad académica los denominados estudios CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad). No es fácil determinar cuáles son las áreas de estudio de esta disciplina. En principio, parece lógico pensar que deberían centrarse en el análisis de la influencia en la sociedad del sistema científico-tecnológico y, a su vez, en la retroalimentación del entramado social en el desarrollo de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, en el primer sentido, cómo influyen los desarrollos tecnológicos, productos de la ciencia básica -tanto teórica como experimental- en el desarrollo social y económico, así como en las costumbres sociales en cuanto al consumo de productos y servicios tecnológicos; en el segundo sentido inverso, cómo influyen las políticas científicas en un país determinado para promover la ciencia y la tecnología, o cómo los productos tecnológicos pueden a su vez servir para el propio desarrollo científico, además de la influencia mutua en cuanto a impacto económico. Pero la realidad es que en líneas generales los estudios CTS no se han preocupado en estos aspectos, al centrarse en aspectos filosóficos desde el posicionamiento del constructivismo de la ciencia, al interpretar ésta como un constructo social. Es obvio que la ciencia, como toda actividad humana, es un constructo social, pero, en mi opinión, la validez de esta idea se limita a las directrices investigadoras que muchas veces, no siempre, se priorizan por necesidades de tipo político, económico o social, y no es aplicable esta visión a los resultados de la ciencia, tanto a las teorías científicas como a los productos y servicios producto del desarrollo tecnológico asociado.[1]

De esta forma, en esta comunicación realizo una propuesta alternativa de contenidos a lo que viene siendo habitual en los estudios CTS, tanto en el ámbito de educación secundaria como universitaria, limitándome exclusivamente al campo de la enseñanza de la Física. Mi propuesta de nuevos contenidos para estudios CTS en el campo de la Física, y en el ámbito de España, que sería válida para diferentes niveles educativos sin más que adaptar el nivel de los contenidos, se basaría en gran parte en la importancia de la divulgación de la Física y su impacto social. Entre otros posibles, una síntesis de los contenidos sería la siguiente:

- La política científica en España. Historia, situación actual y perspectivas.
- La importancia de la Física en la medicina actual
- Ficción y Ciencia (y Ciencia Ficción) en relación con temas de Física
- La Física en el desarrollo de la energía eléctrica y de fuentes de energía alternativas
- El origen y desarrollo de las telecomunicaciones y su impacto social a lo largo de la Historia. La Física en el desarrollo de las telecomunicaciones.
- La tercera cultura, el relativismo epistemológico y las pseudociencias.
- Instalaciones Científico Técnicas Singulares (ICTS) en España relacionadas con la Física. Programa de visitas guiadas a ICTS en la cercanía del centro de enseñanza.

[1] P. Soler Ferrán y J. R. Iglesia Medina, “Aproximación CTS desde la historia de la tecnología. El caso del Foro Histórico de las Telecomunicaciones”, en Roberto Feltrero (coord.) *Tecnología e Innovación social: Hacia un desarrollo inclusivo y sostenible*, 149-166 (2018).

# LA TENSIÓN SUPERFICIAL COMO SÍMIL PARA UN ENFOQUE SOCIAL DE LA FÍSICA

**P. Nacenta<sup>1</sup>, J.P. Nacenta<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> División de Enseñanza y Divulgación de la Física (RSEF)

<sup>2</sup> CEA, LETI, Universidad de Grenoble

E-mail de contacto: pablo.nacenta@telefonica.net

## RESUMO

La última ley española de educación (LOMLOE) incluye como seña de identidad la promoción de sociedades más justas, democráticas y sostenibles.

*¿Pueden abordarse desde la Física situaciones de desequilibrio social?*

En junio de 2023, 110 millones de personas habían sido forzadas a abandonar sus hogares. De ellas, 36,4 millones huyeron a través de las fronteras, escapando de la violencia, la persecución o la guerra. Utilizando los conceptos de tensión superficial, fuerzas de adhesión y cohesión como herramientas, se propone una serie de experimentos como hilo argumental que busca llamar a la reflexión sobre el impacto de estas situaciones de tensión social y sus consecuencias.

**La huida.** Una gota de jabón (*bomba*) cayendo sobre una superficie de agua con pimienta (*personas*) provoca la dispersión de esta (*de estas*).

**El naufragio.** Se añaden progresivamente polvos de talco sobre la superficie de un vaso de agua que contiene jabón líquido, hasta provocar su hundimiento (*como un bote en el mar con sobrecarga*) tras alcanzar el límite de tensión superficial.

**El miedo.** Al llenar con agua una botella de plástico con 6 pequeños agujeros situados a la misma altura, se generan varios chorros que se unen al pasar el dedo gracias a las fuerzas de cohesión. *¿Viajar juntos o separados?*

**¿Qué camino seguir?** Se ata un trozo de lana alrededor de la boca de un vaso con agua, dejando el otro extremo libre. Al dejar caer agua, las fuerzas de adhesión guían el agua por la lana. *¿Caminar siguiendo las vías del tren o caminar a campo abierto?*

***Las fronteras, las vallas.*** Al introducir un cubo hueco hecho con alambre en una disolución jabonosa aparecen diferentes fronteras, pero con la misma composición a ambos lados. *¿Para qué queremos entonces dichas fronteras?*

***Campo de refugiados.*** Con una malla en la apertura de un matraz erlenmeyer boca abajo es posible bloquear una gran cantidad de agua en su interior. *Las alambradas no dejan salir, y generan mucha tensión.*

***La indiferencia y el rechazo social.*** Es posible añadir varias cerillas sobre el extremo de un cartón en equilibrio en el borde de un vaso con agua (el otro extremo del cartón se apoya sobre el agua), gracias a las fuerzas de adhesión entre el cartón y el agua. *¿Qué hace romper el equilibrio social?*

# LA FÍSICA SE APUNTA AL GYM

## F. Prada

División de Enseñanza y Divulgación de la Física (RSEF)  
Dpto. de Física y Química. IES Las Lagunas (Madrid. España)  
E-mail de contacto: [fernando.pradaperez@educa.madrid.org](mailto:fernando.pradaperez@educa.madrid.org)

## RESUMEN

Los gimnasios no solo son un espacio donde hacer deporte y mantenerse en forma, también pueden convertirse en un atractivo laboratorio de física donde los estudiantes realicen investigaciones relativas a las máquinas de musculación, aplicando conocimientos básicos de física, de una forma sana, amena y deportiva.

### Objetivos

- Mejorar la didáctica de la física y hacerla más atractiva a los estudiantes.
- Ofrecer un nuevo recurso didáctico para facilitar el trabajo del docente.
- Adquirir competencias clave: aplicar los conocimientos y de forma cooperativa.

### Contenidos

Las máquinas de los gimnasios, pueden descomponerse en mecanismos más sencillos (palancas, poleas, etc.), hasta que el análisis de su funcionamiento dependa de la comprensión de conceptos básicos de física (propios de la ESO y bachillerato), entre ellos: las fuerzas y su medida, trabajo y energía, tipos de máquinas simples y sus aplicaciones, principio de equilibrio, ventaja mecánica y eficacia.

### Metodología

Utilizando sencillos instrumentos (dinamómetros digitales, básculas de baño y cintas métricas), equipos formados por dos o tres estudiantes realiza las siguientes actividades entre las máquinas, previamente seleccionadas, de un gimnasio:

- Descripción y esquema de la máquina investigada, indicando los principales elementos mecánicos que la forman y su función principal.
- Realización de medidas de las fuerzas reales ejercidas en cada máquina.
- Cálculo de la ventaja mecánica, a partir de la carga desplazada y de la fuerza aplicada, y análisis de los resultados.
- Obtención de gráficas y de la ecuación física correspondiente a cada máquina.

### Conclusion

El aprovechamiento de los gimnasios como actividad extraescolar STEM, para el departamento de Física y Química (y de Tecnología), combina la actividad física deportiva con el aprendizaje de la física, mejorando la comprensión de contenidos básicos mediante su aplicación directa en actividades saludables, alejadas del sedentarismo, que repercutirán en el bienestar físico y emocional de los estudiantes.

### Referencias

- [1] F. Prada. *La física se apunta al gym*. Revista Española de Física. Vol. 37, nº 4 (2023)  
[2] F. Prada. *La física de la mano del deporte*. Ed. Fundación BBVA-M.E. (2010).

# ATIVIDADES PRÁTICAS A BORDO DE UM AVIÃO EM VOO PARABÓLICO

**J. Jorge Teixeira<sup>1</sup>, Armando A. Soares<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Agrupamento de Escolas Dr. Júlio Martins, Chaves, Portugal.

<sup>2</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>3</sup> INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal.

E-mail de contacto: [jisteixeira@gmail.com](mailto:jisteixeira@gmail.com)

## RESUMO

O Clube de Ensino Experimental das Ciências (CEEC) tem como principal missão estreitar os laços entre a ciência aprendida na escola e a comunidade local, bem como aprimorar as competências experimentais dos alunos. Após o convite da organização Mentis Empreendedoras ao coordenador do CEEC para participar num voo parabólico promovido pela Agência Espacial Portuguesa, foram planificadas no Clube três atividades para serem realizadas durante o voo. Este trabalho tem por objetivos explicar as diferentes fases de um voo parabólico, descrever as atividades realizadas e apresentar uma análise dos dados recolhidos. Os registos da aceleração mostram que os corpos dentro do avião estiveram sujeitos a diferentes acelerações (microgravidade, hipergravidade, gravidade terrestre, gravidade lunar e gravidade marciana). Também foi possível verificar experimentalmente a Segunda Lei de Newton e estudar, durante uma manobra de voo parabólico, o comportamento de gotas de água largadas próximo de um balão eletrizado e a intensidade da força exercida por uma massa suspensa num dinamómetro [1].

[1] Teixeira, J. e Soares, A., APEDuC Revista/APEDuC Journal, 05(01), 15-31 (2024)

# PROJETO VESPA ASIÁTICA

**J. Jorge Teixeira<sup>1</sup>, Armando A. Soares<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup> Agrupamento de Escolas Dr. Júlio Martins, Chaves, Portugal.

<sup>2</sup> Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>3</sup> INEGI/LAETA Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Portugal.

E-mail de contacto: [jisteixeira@gmail.com](mailto:jisteixeira@gmail.com)

## RESUMO

A vespa asiática causa impactos e efeitos negativos graves em três áreas distintas: no ambiente e biodiversidade, na saúde pública e na apicultura. A sua elevada agressividade representa um perigo para a segurança das populações, especialmente quando os seus ninhos são perturbados. O impacto económico mais grave é observado na apicultura, devido à redução significativa das populações de abelhas. Num inquérito realizado junto de apicultores, no âmbito do projeto GESVESPA, foram relatadas perdas de colónias até 63% em 2016 [1]. Em setembro de 2023 foram detetadas vespas asiáticas nos espaços exteriores da Escola Dr. Júlio Martins, em Chaves. Constatou-se, ainda, que a comunidade escolar desconhecia a existência destas vespas e dos seus perigos.

Neste contexto, este trabalho tem como principal objetivo apresentar um projeto desenvolvido no Clube do Ensino Experimental das Ciências, focado na mitigação dos impactos da vespa asiática. No desenvolvimento do projeto foram aplicados, pelos alunos, conhecimentos de física e robótica. Para a mitigação dos impactos foram desenvolvidas três soluções. Primeiramente, foi criada uma página web para alertar a comunidade escolar e local sobre o problema e as soluções propostas pelo clube. Em segundo lugar, desenvolveu-se e testaram-se armadilhas seletivas com foco na sustentabilidade ecológica e na preservação da biodiversidade, que demonstraram ser mais eficazes do que as armadilhas comerciais. Em terceiro lugar, foi desenvolvido um sistema de limpeza automática para as harpas elétricas. O projeto recebeu cobertura dos meios de comunicação social nacionais (Lusa, TVI e CNN) e regionais. Foi o vencedor do Concurso Nacional de Inovação na Escola, promovido pela Agência Nacional de Inovação e pela Ciência Viva, na categoria do Ensino Secundário e Profissional. Além do destaque que recebeu, os responsáveis pelo projeto também foram contactados pela Câmara Municipal de Chaves para desenvolverem um projeto-piloto no concelho.

[1] INIAV, Relatório Projeto GESVESPA – Estratégias de Gestão Sustentável da Vespa velutina, UTAD (2019)



# AVALIAÇÃO AUTOMÁTICA DE QUESTIONÁRIOS SOBRE LABORATÓRIOS REMOTOS NO ELAB

**Horácio Fernandes<sup>1</sup>, Pedro Rossa<sup>1</sup>, J. D. F. Oliveira Lopes<sup>1</sup>, João Nuno Silva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup>INESC/ID, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

[hf@ipfn.tecnico.ulisboa.pt](mailto:hf@ipfn.tecnico.ulisboa.pt)

## RESUMO

Algumas das experiências do elab, o laboratório remoto do Instituto Superior Técnico, permitem realizar uma atividade de consolidação de conhecimentos baseada num conjunto associado de questões em linha. Estas podem igualmente ser utilizadas para avaliar automaticamente o aluno em contexto de Sistemas de Gestão de Aprendizagem (LMS ou CMS). Efetivamente o *Framework for Remote Experiments in Education*, FREE, permite programar em *python* a geração de soluções para questões criadas sobre os dados experimentais obtidos numa atividade experimental remota no elab.

O *Framework for Remote Experiments in Education*, FREE [1], existe sobre um software federado e de código aberto permitindo a autenticação do utilizador através de credenciais públicas como por exemplo o *Google Authenticator* ou equivalente. Isto permite garantir o acesso aos dados únicos de cada experiência através do login do utilizador e gerar as respostas corretas através do processamento automático dos dados *desse* utilizador em particular. Deste modo garante-se que cada aluno executa a sua própria experiência e tem de processar os seus dados experimentais corretamente por forma a responder corretamente às questões com uma margem mínima de erro, tipicamente com uma precisão de  $1 \times 10^{-5}$ , distinguindo univocamente se foram utilizados os valores experimentais devidos e executado o devido procedimento de análise dos dados.

O teste inicial em ambiente de produção decorreu no terceiro período de 2024 no curso de Introdução à Física Experimental (LIFE) na licenciatura de Engenharia Física Tecnológica do Instituto Superior Técnico com mais de cem alunos inscritos, onde apenas 5 alunos reprovaram e a média das notas foi de 16.3/20. O curso de física experimental de suporte corre no Open edX do IST, cujo acrónimo é feX.

Neste curso é utilizado como elemento base experimental a constelação de pêndulos do *World Pendulum Alliance* [2], uma infraestrutura em rede resultante de um projeto de Capacity Building Europa-América Latina, que permite aceder em várias latitudes pêndulos semelhantes.

Os questionários inseridos na avaliação do feX exploram vários cálculos e análises sobre os dados obtidos realçando a incerteza na determinação da gravidade local quando determinada por um processo ressonante (o período) ou através do protocolo da conservação da energia.

A estabilidade presente da plataforma e o baixo nível de insatisfação permitem concluir que o FREE, munido destes questionários, pode revolucionar o modo como se avalia relatórios e os respetivos resultados experimentais, eliminando a necessidade da criação de grupos e sistemas de avaliação obsoletos, dando uma resposta imediata e individualizada ao aluno sobre a qualidade da sua aprendizagem e provendo mecanismos de autocorreção.

[1] P. Kuriščák, P. Rossa, H. Fernandes and J. N. Silva, "Design and implementation of a Framework for remote experiments in education", 2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), Panama 2022, pp. 258-265, doi: 10.1109/IESTEC54539.2022.00046.

[2] M. Santos et al., "World Pendulum Alliance", 2019 5th Experiment International Conference (exp.at'19), Funchal, Portugal, 2019, pp. 272-273, doi: 10.1109/EXPAT.2019.8876518

# MOVIMENTO DE CONJUNTOS DE “FILTROS DE CAFÉ”

M. D. Campos

Agrupamento de Escolas Alberto Sampaio, R. Álvaro Carneiro, 4715-086 Braga, Portugal.

E-mail: [mdgcampos@esas.pt](mailto:mdgcampos@esas.pt)

## RESUMO

Da lista das aprendizagens essenciais (AE) do subdomínio “Forças e movimentos” de Física e Química A de 11.º ano constam as AE “Interpretar, e caracterizar, movimentos retilíneos (uniformes, [...] e variados) [...], tendo em conta a resultante das forças e as condições iniciais” e “Resolver problemas de movimentos retilíneos ([...] queda com efeito de resistência do ar não desprezável) [...], aplicando abordagens analíticas e gráficas, mobilizando as Leis de Newton, explicando as estratégias de resolução e os raciocínios demonstrativos que fundamentam uma conclusão.” [1].

Para estudar um movimento em que a força de resistência do ar é considerável, é realizada a atividade laboratorial, em regime de demonstração para a turma, que consiste em deixar cair um “filtro de café” (Figura 1) de uma posição que dista cerca de 2 m de um sensor de movimento (ligado por uma interface a um computador com o software DataStudio). Terminada a aquisição automática de dados (e exibido do gráfico da posição em relação ao sensor do movimento em função do tempo — obtido em tempo real), repete-se o procedimento para diversos conjuntos de “filtros de café”.



Figura 1 – “Filtro de café”

Procede-se então à análise do gráfico posição-tempo correspondente ao movimento de um “filtro de café” e compara-se, por exemplo, com o do movimento do conjunto de quatro “filtros de café” (Figura 2).

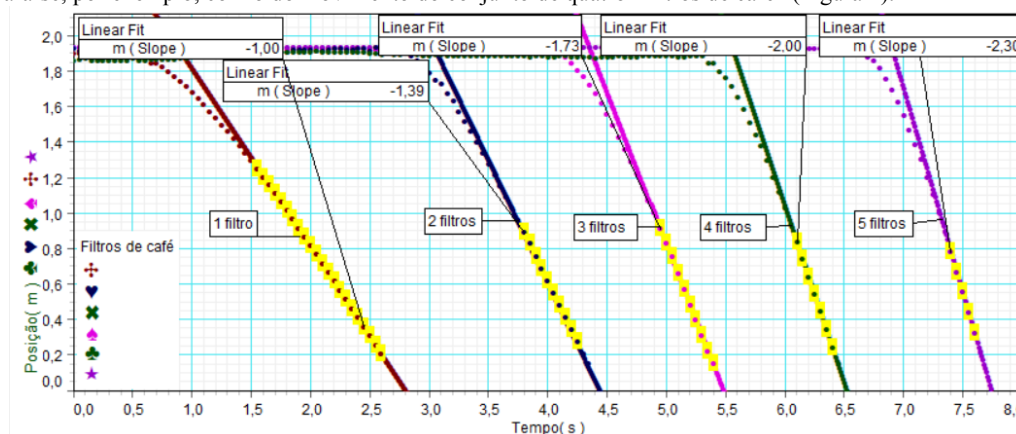


Figura 2 – Gráficos posição-tempo de conjuntos de “filtros de café” e respetivas velocidades terminais

Uma vez que, para um “filtro de café”, o número Reynolds é elevado [2][3], a força de resistência do ar pode ser considerada diretamente proporcional ao quadrado da velocidade do “filtro de café” [2][3].

A partir do instante em que um conjunto de “filtros de café” passa a mover-se com velocidade terminal (m.r.u.), a resultante das forças que sobre ele atuam é nula. Considerando desprezável a impulsão do ar, é válida a expressão seguinte, que relaciona o quadrado da velocidade terminal do conjunto de “filtros de café”,  $v^2$ , com a sua massa,  $m$ :

$$\frac{1}{2} \times c_a \times \rho_{ar} \times A \times v^2 = m \times g \Leftrightarrow v^2 = \frac{2 \times g}{c_a \times \rho_{ar} \times A} \times m,$$

onde  $g$  é a magnitude da aceleração da gravidade,  $c_a$  o coeficiente de arrasto (que está relacionado com a forma do “filtro de café”),  $A$  é a área da maior secção reta do “filtro de café” perpendicular à direção do movimento e  $\rho_{ar}$  é a densidade do ar. Assim, considerando também que os alunos devem ser familiarizados, de modo faseado, com o tratamento de dados experimentais (traçado de gráficos e de linhas de ajuste aos dados), usando a Estatística da calculadora gráfica traça-se o gráfico  $v^2 = f(m)$ , obtendo-se a respetiva equação da linha de ajuste (o equivalente ao gráfico da Figura 3).

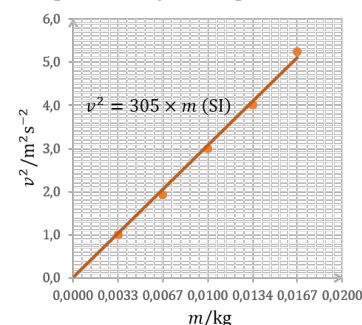


Figura 3 – Gráfico  $v^2 = f(m)$

## REFERÊNCIAS

- [1] Aprendizagens Essenciais de Física e Química A 11.º ano. (agosto de 2018). Obtido de [https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens\\_Essenciais/11\\_fq\\_a.pdf](https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/11_fq_a.pdf)
- [2] Fowler, M. (2006). Stokes' Law and the Coffee Filters. Obtido de <https://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mfl1.spring02/Reynolds.pdf>
- [3] Allain, R. (2017). Let's Study Air Resistance — With Coffee Filters. Obtido de <https://www.wired.com/2017/04/lets-study-air-resistance-coffee-filters/>

# CLICK! ESTAMOS A FAZER CIÊNCIA! A CONTRIBUIÇÃO DA FOTOGRAFIA NO DESENVOLVIMENTO DA FÍSICA EM PORTUGAL

**M. Peres<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Escola Secundária José Saramago - Mafra

<sup>2</sup> CQE – Ciências, Universidade de Lisboa

E-mail de contacto: [mariliaperes@esjs-mafra.net](mailto:mariliaperes@esjs-mafra.net)

## RESUMO

O ensino da fotografia teve um papel fundamental para o seu desenvolvimento no séc. XIX, quer no que diz respeito aos amadores, quer aos profissionais que a praticaram, e ainda a nível de Escolas ou Instituições onde a fotografia era usada para a execução de tarefas técnicas ou de investigação, de tal modo que no caso português existiram instituições científicas com uma secção própria de fotografia, com reputação a nível internacional.

É neste contexto que serão analisados aspetos do ensino da Física, aplicados à Fotografia, escolhendo como principal estudo de caso a Escola Politécnica de Lisboa. Igualmente, será feita uma comparação com o ensino da fotografia na Universidade de Coimbra e outras instituições [1].

Ainda dentro do contexto do ensino e da investigação em Portugal, durante o séc. XIX e início do séc. XX, será igualmente analisada a função da fotografia no desenvolvimento de várias áreas associadas à Física, nomeadamente a espetroscopia, a estereoscopia [2], a fotometria, a meteorologia e o geomagnetismo [3,4].

- [1] Gomes, E. (2007). *Desenvolvimento do ensino da Física Experimental em Portugal 1780-1870*. Doutoramento em Física. Departamento de Física. Universidade de Aveiro (2007).
- [2] Peres, M. “Aplicações da Fotografia Estereoscópica às Ciências: uma Perspectiva Histórica”. In Flores, V. (org) *Stereo & Immersive Media Proceedings 2015*. pp. 22-50 Edições Universitárias Lusófonas (2016).
- [3] Bonifácio, V., Malaquias, I. & Fernandes, J. “Solar Photography in the nineteenth century: the case of the Infante D. Luiz Observatory (1871-1880)”. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 10 (2), 101-113. (2007).
- [4] Peres, M., Costa, F. & Jardim, M., “A Fotografia na Meteorologia e Geomagnetismo”. In: Costa, F.; Jardim, M. (Ed). *100 anos de Fotografia Científica em Portugal (1839-1939) – Imagens e Instrumentos*. pp. 61-84. Edições 70 (2014).

# EXPLORING THE IMPLEMENTATION OF PROJECT-BASED LEARNING IN PHYSICS LABORATORY CLASSES: TEACHERS' CONFIDENCE LEVEL AND PROFESSIONAL GROWTH

**El-Abbas A. Endaisha<sup>1</sup>, Fatma Taher<sup>1</sup>, Safiya Amer<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Misurata University, Libya

E-mail de contacto: [a.endisha@sci.misuratau.edu.ly](mailto:a.endisha@sci.misuratau.edu.ly)

## ABSTRACT

Project-based learning (PBL) is a student-centered method that encourages active learning, critical thinking, collaboration, and the application of skills and knowledge in real-world settings. It offers a dynamic and engaging learning experience that prepares students for potential challenges while promoting a deeper comprehension of the subject matter. However, to effectively implement PBL, teachers must acquire the necessary skills and mindset. Therefore, the purpose of this study, which is part of the "Capacity Building in School Labs for Science Teachers of Misrata" program, is to explore the impact of PBL in physics laboratory classes on teacher pedagogical practices, confidence, and professional growth, with the ultimate goal of enhancing science education practices and empowering science teachers in Misrata. By applying PBL, physics teachers would enhance their skills, confidence, and overall effectiveness in delivering the learning content. Data collecting is now underway and includes quantitative and qualitative data in a mixed-methods approach. Questionnaires will be used to collect quantitative data about teachers' self-perceived abilities and confidence levels. Focus group discussions and semi-structured interviews with science teachers will be used to gather qualitative data and gain a deeper understanding of their experiences, challenges, and impressions of the project's impact. A convenience sampling method was employed to select a sample of physics teachers from several high schools in Misrata, Libya. Data analysis combines descriptive statistics and thematic analysis to identify patterns and themes relevant to the PBL context and physics education. The study's findings will benefit physics teachers first and foremost by providing them with valuable insights, increasing their confidence and competence, and ultimately leading to better student outcomes in physics laboratory classes. Furthermore, this study will contribute to the "Capacity Building in School Labs for Science Teachers of Misrata" program by providing recommendations and best practices for teachers to effectively implement PBL in their physics laboratory classes.