

Relatório de Actividades

Março de 2014 a Março de 2017

António Manuel da Silva de Nazareth Falcão

Investigador Principal

ÍNDICE

Notas introdutórias e Resumo	3
A. Actividades de I&D	5
A1. Desenvolvimento e Upgrade de Instrumentação.....	5
A.1.1 – Acelerador LINAC	5
A.1.2 – Upgrade do irradiador de ⁶⁰ Co (PRECISA 22).....	6
A.1.3 – Irradiador Inovador do tipo <i>Gamma-Cell</i>	6
A.1.4 – Gerador de neutrões usando os feixes do LINAC.....	8
A2. Investigação científica com recurso a Tecnologias de Radiação	9
A2.1 Produção e Caracterização de Materiais Híbridos e Copolímeros.....	9
A2.2 Dosímetro Óptico para Dosimetria em Tempo Real.....	10
A2.3 Efeito da Irradiação Gama na Toxicidade de Águas Residuais	11
A2.4 Descontaminação de Frutos Frescos por Técnicas de Irradiação	11
B. Actividade de Gestão	12
C. Actividade Docente & Educação e Treino.....	13
C1. Actividade Docente	13
C1.1 Actividade docente (Ensino Superior)	13
C1.2 Desenvolvimento de conteúdos para módulos de formação on-line	13
C1.3 Organização de cursos (organismos internacionais)	13
C1.4 Organização/Leccionação de cursos de Formação Profissional.....	14
C1.4 Outras actividades relacionadas com Formação e Treino em PSR	14
C2. Orientação de Formandos.....	14
D. Projectos de Investigação	15
E. Acções de Demonstração e de Divulgação Científica	16
F. Referências	17
Publicações	17
Comunicações em Conferências.....	18
Outras comunicações - Relatórios.....	20
Cursos de Formação Profissional Organizados.....	20
Em organizações internacionais.....	20
Nacionais.....	20
Desenvolvimento de Software.....	20
Outras iniciativas e realizações	21
Produção de vídeos de carácter didáctico.....	21

NOTAS INTRODUTÓRIAS E RESUMO

O presente relatório reporta-se à actividade desenvolvida entre Abril de 2014 e Março de 2017, período em que desempenhei funções como Investigador Principal formalmente integrado no Departamento de Ciências Tecnologias Nucleares (DECN), tendo feito parte da Comissão de Estratégia do Departamento.

Durante todo o período, integrei o Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), em que integro a equipa do Grupo de Radiações Elementos e Isótopos (GREI). No âmbito do C²TN exerci funções de gestão, pertencendo à sua Comissão Executiva desde as eleições realizadas em 2015, actividade que consumiu uma parte significativa do meu tempo.

No âmbito do GREI, a minha actividade de I&D foi dirigida à aplicação e optimização das tecnologias de radiação.

No triénio tive a responsabilidade de coordenar a Instalação de Radiações Ionizantes (IRIS). Uma parte muito significativa do meu trabalho foi dedicada à recuperação e upgrade de equipamentos pesados existentes: um acelerador linear de electrões (LINAC), cuja operação foi recuperada com sucesso, e um irradiador de ⁶⁰Co. Em paralelo foi concluído um trabalho, anteriormente iniciado, de projecto de um equipamento de irradiação inovador dedicado a trabalho de investigação em múltiplos domínios, e iniciado o desenvolvimento de um protótipo de uma fonte de neutrões a partir dos feixes de electrões de alta energia produzidos no LINAC.

No triénio estive envolvido na aplicação das tecnologias de radiação à investigação e desenvolvimento de: (i) sistemas poliméricos e híbridos vidro – polímero, com particular incidência para o desenvolvimento e caracterização de novos biomateriais preparados por irradiação gama dos precursores; (ii) tratamento de águas residuais; (iii) descontaminação de alimentos frescos; (iv) desenvolvimento de novos métodos de dosimetria em tempo real.

Em todo o triénio, desenvolvi actividade docente a nível do Ensino Superior, leccionando como Professor Coordenador Convidado na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, integrada no Instituto Superior Politécnico de Lisboa, e no mestrado em Protecção e Segurança Radiológica do IST. Também com incidência na actividade

docente, preparei os conteúdos para um módulo de e-learning sobre a física das radiações ionizantes, para o que realizei 28 vídeos de animação explicativos de reacções nucleares e da interacção das radiações ionizantes com a matéria.

Fui organizador de curso de formação de formadores por solicitação da Agência Internacional de Energia Atómica (IAEA), e de cursos de formação profissional em Protecção e Segurança Radiológica (PSR) solicitados por entidades externas.

No quadro da formação e treino em PSR, faço parte da equipa de um projecto europeu (ENETRAP III) em que estou directamente envolvido na preparação de *guidelines* para a implementação de uma Directiva Comunitária no espaço comunitário, e na realização de acções *Training the Trainers*. Com o mesmo enquadramento temático, sou contacto local da plataforma europeia EUTERP.

Ao longo de todo o período a que se reporta o presente Relatório desempenhei várias actividades dirigidas à divulgação científica, que incluíram, designadamente, palestras sobre a aplicação das radiações ionizantes, e de divulgação das actividades desenvolvidas no Campus.

O relatório está organizado em secções e referências.

- ▶ Secção A: aborda actividades de investigação e de desenvolvimento;
- ▶ Secção B: actividades de gestão
- ▶ Secção C: actividades docente e ligadas a educação e treino;
- ▶ Secção D: projectos de investigação;
- ▶ Secção E: acções de demonstração e de divulgação científica;
- ▶ Secção F: referências organizadas em trabalhos científicos publicados (Pxx); comunicação em conferências e palestras convidadas (CCxx); cursos organizados (Cxx); relatórios (Pxx); desenvolvimento de software (Sxx); outras iniciativas e realizações (Oxx)

A. ACTIVIDADES DE I&D

A1. DESENVOLVIMENTO E UPGRADE DE INSTRUMENTAÇÃO

A.1.1 – Acelerador LINAC

O LINAC instalado na IRIS fora adaptado de uma unidade correntemente usada em radioterapia externa. Quando assumi funções de coordenação da IRIS, o LINAC estava inoperacional na sequência de uma avaria no deflector de feixe. Durante o período de mais de dois anos em que estivera parado, não houvera o cuidado de proteger a linha de feixe das condições adversas do ambiente em que se encontrava (a linha estava ao ar). Aos problemas encontrados por via do exposto, acresceram os factos de alguns componentes terem ficado danificados pelas altas doses de radiação geradas no acelerador, e de não haver um manual de operação actualizado (apenas um draft, de que constava inclusivamente informação errada) nem tão pouco uma informação suficiente sobre as características e distribuição dos vários sensores e dos magnetes de focagem. O trabalho de recuperação do equipamento foi assim extremamente difícil e moroso. Foi, contudo, perseguido com persistência, contando com a colaboração preciosa de um bolsheiro Pos-Doc que já estava adstrito ao grupo que tivera o LINAC a seu cargo, sem a qual os trabalhos não teriam sido levados a bom termo. Foram necessários 6 meses para conseguir um vazio da ordem de 10^{-8} mbar na linha de feixe. O condicionamento da radiofrequência demorou também vários meses num processo delicado que requereu atenção e a presença permanente. Em Março de 2015 obteve-se o primeiro feixe de electrões, embora manifestamente desfocado. Seguiu-se o trabalho de focagem do feixe com recurso a um conjunto de magnetes dispostos ao longo da linha de aceleração, trabalho concluído em Abril.

A distribuição espacial do feixe foi posteriormente determinada através da transmissão óptica de lamelas de vidro irradiadas a uma dose inferior à da saturação. O valor absoluto da dose foi determinado por métodos dosimétricos convencionais. O equipamento está hoje operacional. O LINAC permite feixes pulsados de electrões (impulsos com a largura de $4 \mu\text{s}$) sendo possíveis diferentes frequências de emissão

(valores típicos de 10Hz, 50 Hz e 150 Hz). A geometria do feixe é cónica, e o valor médio da dose máxima atingível num círculo com 40 mm de diâmetro, acessível à saída de feixe é 25 kGy/min. Feixes de radiação-X com diversas energias obtêm-se por interposição de um conversor de W (espessuras de 2 mm e 4 mm disponíveis).

Finalmente, foi realizado um filme de animação explicativo do princípio de funcionamento do acelerador para fins didácticos e de divulgação [O32].

A.1.2 – Upgrade do irradiador de ^{60}Co (PRECISA 22)

A IRIS está equipada com um irradiador que recorre a uma fonte de ^{60}Co (PRECISA 22). No último triénio o irradiador foi sujeito a uma intervenção importante de upgrade. Para melhorar as condições de uniformidade de dose nas amostras irradiadas, foi projectado, construído e instalado um sistema automático de posicionamento preciso das amostras, e de rotação do seu suporte. Novos suportes de amostra foram desenhados permitindo a irradiação simultânea de várias amostras nas mesmas condições de irradiação.

Para a PRECISA 22 foi desenvolvido de raiz um novo software de comando da unidade. O resultado do upgrade foi confirmado por um trabalho detalhado de dosimetria na sequência do qual foi possível verificar que as fontes ocupam, nas condições de irradiação, uma posição diferente da que anteriormente se supunha que ocupavam. Com fins didácticos e de divulgação, foram também realizados dois filmes de animação explicando o funcionamento da PRECISA 22 e do sistema de posicionamento da amostra [O29, O30].

A.1.3 – Irradiador Inovador do tipo *Gamma-Cell*

Na sequência de trabalho de concepção iniciado nos últimos meses do triénio anterior, foi detalhado o projecto de um protótipo de um equipamento de irradiação do tipo *Gamma-Cell*. O protótipo prevê a utilização de duas fontes artificiais de radiação - uma de ^{60}Co e outra de ^{137}Cs . Com o equipamento prevê-se a obtenção de uma distribuição de dose muito uniforme, e reproduzível na câmara da amostra. O equipamento é inovador ao possibilitar que a irradiação se realize mantendo a amostra em ambiente controlado, designadamente com circuito fechado de gases vários, e ao possibilitar o

controle de temperatura, designadamente, a irradiação a temperaturas negativas da ordem dos -5°C , condição particularmente útil em estudos de biologia. O protótipo contempla ainda a possibilidade de análise em tempo real dos componentes gasosos gerados durante o processo de irradiação.

A conclusão do projecto de detalhe aguarda informação de orçamentos para o fornecimento das fontes radioactivas e desenhos técnicos dos contentores de transferência das fontes, para os tornar compatíveis com o equipamento a construir. Sublinha-se que a utilização do equipamento será relevante para investigação em vários domínios: (i) Desenvolvimento e caracterização de materiais poliméricos; (ii) desenvolvimento e caracterização de materiais híbridos e compósitos; (iii) Radiobiologia; (iv) Radioterapia; (v) Radiofarmácia; (vi) microbiologia; (vii) estudos de esterilização e descontaminação.

Acresce que o desenvolvimento do protótipo permite facilitar a construção de uma versão simplificada e compacta, especialmente adequada à realização de serviço de rotina na área da saúde, designadamente, para irradiação de sangue a ser usado em transfusões (doentes imunodeprimidos e transplantados).

Reflexo da panóplia de áreas de interesse é a manifestação de interesse por parte de várias entidades externas ao IST em envolver-se nos testes e posterior utilização do equipamento: Departamento de Química da U.N. Lisboa; Departamento de Eng. Química da FCT da U. Coimbra; Departamento de Cerâmica e do Vidro da U. Aveiro; Instituto Português de Oncologia de Lisboa; Serviço de Medicina Transfusional do Hospital Garcia de Horta; Centro de Histocompatibilidade do Sul.

Com vista a sensibilizar parceiros para a execução de um projecto de construção, produziu-se um filme de animação detalhando alguns aspectos de construção e explicando o princípio de funcionamento do equipamento [O31].

Possíveis entidades parceiras foram identificadas. Dado haver a perspectiva de se virem a construir unidades de interesse comercial, estão actualmente em curso conversações com empresa que actua na área das radiações ionizantes na saúde, prestando serviços técnicos e de consultadoria a várias unidades hospitalares.

A.1.4 – Gerador de neutrões usando os feixes do LINAC

Está em fase inicial de estudo o desenvolvimento de uma fonte de neutrões baseada na disponibilidade de feixes de electrões de 10 MeV do LINAC. O princípio de funcionamento baseia-se na ejeção de fotoneutrões de um bloco de Be, provocada por radiação-X de bremsstrahlung gerada num conversor de massa atómica elevada (W, Pb), pêlos electrões de 10 MeV.

Estudos preliminares por simulação Monte – Carlo permitem esperar a obtenção de fluxos neutrónicos acima de $10^7 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ à saída do conversor. Os estudos estão agora dirigidos para a optimização das espessuras do conversor e do bloco de Be. A disponibilidade dos materiais necessários permitirá confirmação experimental, mal a optimização do dispositivo esteja concluída e a distribuição energética dos fotoneutrões esteja estimada.

A1. NOTAS FINAIS IMPORTANTES SOBRE O FUTURO DA ACTIVIDADE NA IRIS (ao jeito de uma análise SWOT)

S

A aplicabilidade dos equipamentos a estudos em múltiplos domínios técnico-científicos.

A capacidade técnico-científica do pessoal envolvido nas actividades e o conhecimento adquirido durante o processo de recuperação da IRIS.

W

Os recursos humanos e materiais adstritos são manifestamente exíguos para uma instalação com o porte da IRIS.

O efeito dissuasor resultante da importância reduzida dada ao desenvolvimento instrumental em matéria de progressão na Carreira, o que dificulta a contratação de pessoas com as competências requeridas.

O

Abertura da instalação a trabalho científico em áreas de interesse muito actual nos domínios da saúde, do ambiente e da produção de novos materiais, e ainda a serviços de ciência e a demonstração.

T

O risco muito sério de não se poder continuar a contar com a colaboração do bolseiro Pos-Doc, sem quem será impossível manter a operação do LINAC a curto prazo.

A possibilidade de um dos componentes pesados do LINAC sofrer uma avaria de reparação difícil ou impossível.

A2. INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA COM RECURSO A TECNOLOGIAS DE RADIAÇÃO

A2.1 Produção e Caracterização de Materiais Híbridos e Copolímeros

Refs. [P1, P3, P4, CC2, CC3, CC8]

Os materiais híbridos são uma família recente de sólidos amorfos que apresentam estruturas aleatórias resultantes da reacção de constituintes inorgânicos (óxidos) e orgânicos (polímeros). Tradicionalmente os híbridos são produzidos com recurso ao método dos alcóxidos, mas está hoje devidamente demonstrado que podem ser obtidos por irradiação dos precursores. O sistema PDMS – SiO₂ constitui uma boa base para desenvolvimento de novos materiais, mediante a adição de outros precursores como metais de transição.

A2.1.1 [P3, P4, CC2, CC3]

Foi feito um estudo detalhado da influência da adição de diferentes concentrações de Titânio e Zircónio na microestrutura das amostras obtidas. As amostras foram caracterizadas recorrendo a um vasto leque de técnicas experimentais dirigidas à avaliação da estabilidade térmica e da composição microestrutural, concluindo-se que o Titânio ocupa preferencialmente posições na superfície de partículas secundárias (agregados) de sílica, enquanto que o Zircónio, mais reactivo, se centra em torno de partículas primárias gerando estruturas mais porosas e heterogéneas.

A minha colaboração específica para o projecto envolveu: (i) Colaboração na fase de preparação de amostras pelo método de sol – gel; (ii) Orientação na preparação de amostras produzidas com recurso a irradiação com radiação gama; (iii) Colaboração na análise e interpretação dos resultados experimentais; (iv) Orientação de um bolseiro de investigação financiado e colaboração na orientação de outro.

A2.1.2 [P1]

A modificação de estruturas moleculares por irradiação gama tem sido utilizada com sucesso na preparação de novos biomateriais. Destacam-se nesta área os biomateriais

poliméricos de origem natural e/ou sintética. Foi realizado trabalho dirigido à optimização da preparação de sistemas copoliméricos em que se promove o enxerto de material polimérico hidrófilo na superfície de uma matriz hidrofóbica mecanicamente muito estável. Os materiais desenvolvidos utilizam uma matriz de poli-etileno de baixa densidade (LDPE) na qual se promove, por meio de irradiação, o enxerto de cadeias de HEMA. Adequando as condições experimentais de preparação (condições de irradiação, concentração das espécies reagentes, etc...) foi possível obter numa única operação a preparação e esterilização de um novo material com elevado potencial de aplicação como biomaterial. As amostras preparadas foram caracterizadas por DSC, TGA, FTIR, SEM. O estudo permitiu ainda identificar uma recuperação significativa da ordenação dos copolímeros após tratamento.

A2.1.3 [CC8]

Colaborei no desenvolvimento de materiais híbridos destinados à conservação de achados arqueológicos, em particular à conservação da morfologia de mosaicos encontrados em ruínas romanas.

A2.1.4

Colaborei marginalmente num projecto de produção de materiais híbridos biocompatíveis, baseados na adição de Cálcio para melhorar a bioactividade. As amostras foram preparadas por adição de nitrato de cálcio e titânia a uma matriz PDMS – SiO₂. O sistema PDMS-SiO₂-CaO-TiO₂ sofreu posteriormente um tratamento térmico a 400 °C para remover os resíduos de nitrato. O trabalho fez parte de tese de doutoramento defendida na Universidade de Aveiro, de que fui arguente.

A2.2 Dosímetro Óptico para Dosimetria em Tempo Real

Ref. [P2]

Sistemas usando o transporte óptico através de fibra, em paralelo com leitura controlada por computador ao milissegundo, foram usados no desenvolvimento de dosímetros de

baixo custo. O princípio de funcionamento baseia-se na perda de transmissão óptica resultante do desarranjo microestrutural induzido pela radiação. Experiências realizadas com radiação gama emitida por uma fonte de ^{60}Co ($E \sim 1 \text{ MeV}$), mostraram uma adequada sensibilidade de fibras *singlemode* de Si dopadas com Er para doses e débitos de dose regularmente usados em radioterapia convencional. Tendo em vista o desenvolvimento de um protótipo, os estudos têm que prosseguir para avaliar o comportamento quando a fibra é irradiada com fotões X com a energia usada em radioterapia (~alguns MeV).

A2.3 Efeito da Irradiação Gama na Toxicidade de Águas Residuais

Refs. [CC7, CC9]

A radiação ionizante pode induzir um aumento da actividade antioxidante da água residual da cozedura de cortiça. Testes da toxicidade foram realizados em amostras previamente irradiadas na fonte de ^{60}Co da IRIS, para avaliar o potencial valor acrescentado do método de tratamento das águas residuais minimizando o impacto ambiental.

A2.4 Descontaminação de Frutos Frescos por Técnicas de Irradiação

Refs. [P5, CC4, CC5]

A nível mundial existe uma procura crescente de alimentos de elevada qualidade com ênfase na segurança alimentar, e a preservação sem adição de químicos. Um aumento da segurança alimentar através de descontaminação em paralelo com o alargamento de tempo de prateleira, têm um impacto positivo para a actividade económica e para os consumidores e, muito em particular, na alimentação de doentes imunodeprimidos, O estudo demonstrou que a irradiação de tomates cherry após a colheita, pode reduzir significativamente a carga microbiana e aumentar o tempo de prateleira em cerca de duas semanas, e com um impacto mínimo na qualidade e sabor dos produtos irradiados, como resultou de uma análise sensorial em que os parâmetros avaliados foram: cor, cheiro, sabor, textura, firmeza, teor em açúcar, acidez e avaliação global.

B. ACTIVIDADE DE GESTÃO

Uma parte muito significativa da actividade realizada no triénio foi de gestão do C²TN, cuja Comissão Executiva integrei na sequência de eleições realizadas em Setembro de 2015.

Da minha actividade destaco o envolvimento na preparação dos Relatórios de Actividade e dos Orçamentos, na preparação e acompanhamento da visita da Unidade de Acompanhamento do C²TN (realizada em 2016), na preparação e acompanhamento de múltiplas reuniões da Comissão Coordenadora do Centro e de 4 reuniões plenárias.

Destaco ainda e, em particular, o trabalho realizado no desenvolvimento da página de internet do Centro (www.c2tn.tecnico.ulisboa.pt), na elaboração dos Relatórios de Actividade de 2015 e 2016, e das Brochuras de divulgação da actividade científica do Centro em 2015 e 2016, de que fui editor.

No triénio integrei também a Comissão de Estratégia do DECN.

C. ACTIVIDADE DOCENTE & EDUCAÇÃO E TREINO

C1. ACTIVIDADE DOCENTE

C1.1 Actividade docente (Ensino Superior)

- No decurso de todo o triénio, desempenhei funções como Professor Coordenador Convidado na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa (ESTeSL), integrada no Instituto Superior Politécnico de Lisboa, sendo responsável pela regência da disciplina de Biomecânica dos cursos de Fisioterapia e de Ortoprotesia.
- No ano lectivo de 2016-2017 fui responsável da Unidade Curricular de Fundamentos de Protecção e Segurança Radiológica do Mestrado em Protecção e Segurança Radiológica do IST

C1.2 Desenvolvimento de conteúdos para módulos de formação on-line

Refs. [O1 a O28]

Elaborei conteúdos para virem a integrar um curso de b-learning sobre PSR:

- a) Introdução Histórica à PSR
- b) Física das Radiações
- c) Interacção da Radiação Ionizante com a Matéria
- d) Aplicações Industriais das Radiações Ionizantes

Para melhor motivar os alunos, realizei 28 vídeos de animação explicativos de reacções nucleares e da interacção da radiação ionizante com a matéria, bem como do princípio de funcionamento de equipamentos.

C1.3 Organização de cursos (organismos internacionais)

Por solicitação da IAEA organizei em Lisboa (IST, Junho de 2015) o Curso *Training the Trainers* em PSR enquadrado pelo programa IAEA RER/9/109 em que participaram 33 Professores e Formadores de vários países membros da IAEA.

C1.4 Organização/Leccionação de cursos de Formação Profissional

No decurso do triénio organizei e dirigi dois Cursos de Formação Profissional tendo também leccionado módulos de Física das Radiações e de Detecção das Radiações.

C1.4 Outras actividades relacionadas com Formação e Treino em PSR

- No quadro da formação e treino em PSR, faço parte da equipa de um projecto europeu (ENETRAP III), com financiamento aprovado pelo 7º PQ EURATOM, que envolve 13 instituições europeias, em que estou directamente envolvido na preparação de orientações a ser adoptadas pela Comissão Europeia para a implementação da Directiva Comunitária 2013/59 EURATOM no espaço comunitário (tarefa 7), e na realização de acções *Training the Trainers* (tarefa 4).
- Com o mesmo enquadramento sou, há vários anos, o contacto local Português da plataforma europeia EUTERP que emergiu de um projecto patrocinado pela Comissão Europeia para harmonizar a formação e a qualificação em PSR no espaço comunitário, com o objectivo de facilitar a circulação de profissionais na EU.

C2. ORIENTAÇÃO DE FORMANDOS

No quadro das funções no GREI/IRIS tive sob minha supervisão directa a actividade do Pós-Doc Pedro Santos e da Mestre Telma Silva.

Colaborei ainda na orientação do trabalho da mestranda Joana Lancastre

D. PROJECTOS DE INVESTIGAÇÃO

ENETRAP III - European Network for Education and Training in Radiation Protection (FP7-EURATOM – Project 605159). Funding scheme: Coordination and support action (CSA). Leading institution: SCK/CEN (Belgium). Portuguese participants: Pedro Vaz, António Falcão. EU funding (IST-ID): 23,361.00 €. Start date: 1st March 2014.

Application of Ionizing Radiation for a Sustainable Environment – ARIAS; contracto ref. FCT -RECI/AAG-TEC/0400/2012 (2013 – 2015). Budget: 499.469 €, IST-ID budget: 499.469 €. Prime Contractor: IST-ID. Coordinator: F.M.A. Margaça.

Ionization radiation treatment of fruits and vegetables for immuno-compromised patients – feasibility study, IAEA Coordinate Research Project CRP D6-RC-1163.2 - "Development of Irradiated Foods for Immuno-compromised Patients and Other Potential Target Groups", IAEA Research Contract No. 16281 (2011 – 2015). Partners: IST; Total funding: 18,500 €. Coordinator: A. Falcão.

AROMAP – Processamento de plantas aromáticas condimentares. PRODER - PA 53515 (2014-2016), Partners: Pragmático Aroma Lda., IPB, IST. IST Coordinator: A. Falcão. Funding: 53,100.00 €.

E. ACÇÕES DE DEMONSTRAÇÃO E DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

- Participação regular nas sessões de abertura dos Dias de Portas Abertas do Campus realizando palestras abordando as aplicações das radiações ionizantes.
- Participação na iniciativa “Ciência na Rua” organizada pela Agência Ciência Viva (Estremoz) em colaboração com a U. Évora (2015).
- Realização de cerca de 50 palestras sobre física das radiações e suas aplicações ministradas no âmbito do programa regular de visitas ao Campus Tecnológico e Nuclear.
- Promoção da realização de palestras de divulgação orientadas para temas relacionados com a utilização das radiações ionizantes, (ES Sintra - 2014, ES Linda a Velha - 2014, ES Pedro da Fonseca, Proença-a-Nova, 2015).
- Colaborei na elaboração da versão portuguesa do site *Understanding Science* desenvolvido na Universidade de Berkeley, EUA. A versão Portuguesa, Saber Ciência, foi coordenada pelo colega Nuno Barradas e está disponível em <http://saberciencia.tecnico.ulisboa.pt/>.

F. REFERÊNCIAS

PUBLICAÇÕES

- P1. Ferreira, L.M.; Leal, J.P.; Casimiro, M.H.; Cruz, C.; Lancastre, J.J.H.; Falcão, A.N. (2014). Evidence of structural order recovery in LDPE based copolymers prepared by gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 94, 31–35.
doi:10.1016/j.radphyschem.2013.06.031. WOS:000328182300007.
- P2. Correia, A.; Rosa, C.C.; Santos, P.M.P.; Falcão, A.N.; Lorentz, K. (2014). Real-time dosimeter targeted to nuclear applications. *Proceedings of the Second International Conference on Applications of Optics and Photonics*, M. Martins Costa E R.N. Nogueira (eds.). Aveiro Portugal May 26-40, 2014. *Proceedings of SPIE* 9286, 92864R, ISBN: 978-1-62841-361-8. doi:10.1117/12.2063832. WOS:000343096200093.
- P3. Lancastre, J.J.H., Falcão, A.N., Margaça, F.M.A., Ferreira, L.M., Miranda Salvado, I.M., Almasy, L., Casimiro, M.H., & Meiszterics, A. (2015). Nanostructure of PDMS-TEOS-PrZr hybrids prepared by direct deposition of gamma radiation energy. *Applied Surface Science*, 352, 91-94. DOI:10.1016/j.apsusc.2015.01.224.
WOS:000361212200017.
- P4. Lancastre, J.J.H., Falcão, A.N., Margaça, F.M.A., Ferreira, L.M., Miranda Salvado, I.M., Casimiro, M.H., Almasy, L., & Meiszterics, A. (2015). Influence of the polymer molecular weight on the microstructure of hybrid materials prepared by gamma-irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 106, 126-129.
DOI:10.1016/j.radphyschem.2014.06.023. WOS:000344422400019
- P5. Guerreiro, D., Madureira, J., Silva, T., Melo, R., Santos, P.M.P., Ferreira, A., Trigo, M.J., Falc.o, A.N., Marga.a, F.M.A., & Verde, S.C. (2016). Post-harvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation: Microbial and physicochemical parameters evaluation.

Innovative Food Science & Emerging Technologies, 36, 1-9.
doi:10.1016/j.ifset.2016.05.008. WOS:000382341000001.

COMUNICAÇÕES EM CONFERÊNCIAS

- CC1. Falcão, A.N., A National Strategy for Education and Training in Radiation Transport and Waste Safety in Portugal. TC Project C1 – RER/9/109/9008/01, IAEA Regional Workshop on Establishing a National Strategy for Education and Training in Radiation Transport and Waste Safety, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 4-7 November 2014
- CC2. Margaça, F.M.A.; Lancastre, Joana J.H.; R. Gomes, Susana; P. Santos, Joana; Ferreira, Luís M.; Falcão, António N.; Miranda Salvado, Isabel M.; Casimiro, Maria H., Gamma radiation: an alternative to Sol-Gel for processing bulk glasses and hybrid materials. 10th International Conference on Physics of Advanced Materials, ICPAM-10, Iasi, Romania, 22-28 September 2014.
- CC3. Lancastre, J.J.H.; Falcão, A.N.; Margaça, F.M.A.; Ferreira, L.M.; Salvado, I.M.M.; Casimiro, M.H.; Almásy, L.; Meiszterics, A., The inorganic oxide network microstructure in Si based Ormosils prepared by gamma radiation. 1st Autumn School on Physics of Advanced Materials, Iași, Romania, 21 – 26 September 2014.
- CC4. Cabo Verde, S., Pereira, J.; Oliveira, M.; Guerreiro, D.; Silva, T.; Meneses M.; Madureira, J.; Melo, R.; Santos, P.M.P.; Margaça, F.M.A.; Falcão, A.N. (2015) Ionization radiation treatment of fruits and vegetables for immuno-compromised patients: feasibility study. IAEA 4th Research Coordinated Meeting on the Development of Irradiated Food for Immuno-compromised patients and other Potential Target Groups, 1-5 June 2015, Vienna, Austria.
- CC5. Cabo Verde, S.; Santos, P. M. P.; António, A.L.; Redondo, D.; Teubig, P.; Falcão, A.N. (2015) Fostering e-beam food irradiation: Modelling and Validation. IAEA 1st

Research Coordinated Meeting on New applications of Machine Generated Food Irradiation Technologies Vienna, 19-23 October 2015.

- CC6. Falcão, A. N., Meruje, M. M., Rosário, P., E&T in the New BSS Directive (2013/59/EURATOM) and the Portuguese Legal Framework, EUTERP 2015, (30 September – 2 October, 2015), Athens, Greece.
- CC7. Cabo Verde, S.; Madureira, J.; Pimenta, A.I.; Santos, P.M.P.; Melo, R.; Falcão, A.N.; Margaça, F.M.A. Biological features on wastewater treatment by gamma radiation. IAEA Technical Meeting on "Radiation Technologies for Degradation of Contaminants of Emerging Concern". Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, 29 August - 2 September 2016.
- CC8. Ferreira, L.M.; Rodrigues, A.P.; Cabo Verde, S.; Alves, L.C.; Casimiro, M.H.; Lancaster, J.J.H.; Falcão, A.N.; Margaça, F.M.A.; Araújo, M.F (2016). Hybrid materials prepared by gamma irradiation for consolidation of ancient mosaics: morphology and preliminary biocide activity studies. 12th International Symposium on Ionizing Radiation & Polymers (IRaP2016), 25-30 September, Peninsula Giens, France.
- CC9. Madureira, J.; Barros, L.; Melo, R.; Santos, P.M.P.; Falcão, A.N.; Cabo Verde, S.; Ferreira, I.C.F.R.; Margaça, F.M.A (2016). Degradation of compounds present in cork boiling water by gamma radiation. 9. Encontro Nacional de Cromatografia (9ENC), 5-9 January, Lisbon, Portugal.
- CC10. Paynter, R., Stewart, J., Schmitt-Hannig, Coeck, M., A., Falcão, A. N., ENETRAP III - European Guidance on the Implementation of the Requirements of the Euratom BSS with respect to RPE and RPO – Implications for Industrial Radiography? 16th European ALARA Network Workshop, Berne, Switzerland, 14 – 16 March 2016.

CC11. Stewart, J., et all, European Guidance Implementation of the Requirements of the Euratom BSS with respect to the Radiation Protection Expert & Radiation Protection Officer, Meeting of Article 31 GoE, Luxembourg, 2016.

OUTRAS COMUNICAÇÕES - RELATÓRIOS

R1. European Guidance on the Implementation of the Requirements of the Euratom BSS with respect to the Radiation Protection Expert and the Radiation Protection Officer (ENETRAP III, circulação restrita)

CURSOS DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL ORGANIZADOS

Em organizações internacionais

C1. *Training the Trainers in Radiation Protection and Safety*

Organizado por solicitação da IAEA e enquadrado pelo programa IAEA RER/9/109. Curso frequentado por 33 Professores e Formadores de vários países membros da IAEA.

Nacionais

Cursos para atribuição da qualificação em Técnico Operador de Equipamentos prevista na Lei Portuguesa.

C2. Protecção e Segurança Radiológica em Radiografia Industrial. CTN, Novembro 2015

C3. Protecção e Segurança Radiológica na Utilização de Gamadensímetros. CTN, Janeiro de 2017

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

S1. Realização da página de internet do C²TN

S2. Realização do software de operação e controle do irradiador de ^{60}Co .

OUTRAS INICIATIVAS E REALIZAÇÕES

Produção de vídeos de carácter didáctico

Vídeos de animação explicativos de reacções nucleares e da interacção da radiação ionizante com a matéria, bem como do princípio de funcionamento de equipamentos:

- O1. Conservação de energia
- O2. Os elementos
- O3. Os isótopos (caso do He)
- O4. As moléculas (a água)
- O5. Instabilidade nuclear (decaimento do Co-60)
- O6. Emissão alfa - do Ra ao Rn-222
- O7. Emissão beta (I-131)
- O8. Emissão gama (Ag-109m)
- O9. Conversão interna
- O10. Cisão nuclear
- O11. Reacção nuclear em cadeia
- O12. O reactor nuclear de cisão PWR – como funciona
- O13. O reactor nuclear de cisão BWR – como funciona
- O14. Emissão de nucleões
- O15. Emissão de R-X característicos
- O16. Colisões elásticas
- O17. Colisões inelásticas
- O18. A fonte de Am-Be
- O19. A semi-vida de um radionuclídeo (C-14 e datação)
- O20. A cadeia de decaimento do U-235
- O21. Efeito Compton
- O22. Efeito fotoeléctrico
- O23. Produção de pares
- O24. Atenuação da radiação alfa, beta, gama, neutrões
- O25. Foto emissão de nucleões

- O26. O ânodo rotativo
- O27. Determinação de densidade a partir de radiação gama
- O28. Determinação de humidade com recurso a neutrões

Vídeos de animação realizados para explicar o funcionamento de equipamentos instalados e/ou projectados para a IRIS:

- O29. Funcionamento da PRECISA 22
- O30. O sistema de posicionamento e rotação de amostras da PRECISA 22
- O31. Uma *gamma cell* inovadora
- O32. Princípio de funcionamento de um LINAC

CTN, Março de 2017

