

Relatório de Atividades

de 1. 4. 2014 a 31. 3. 2017

Andreas Kling

(Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares)

ÍNDICE

1. Atividades de Investigação e Desenvolvimento, 3
 - 1.1 Funções Desempenhadas, 3
 - 1.2 Projetos de Investigação como Investigador Participante, 7
 - 1.3 Publicações, 8
 - 1.4 Relatórios Internos, 11
 - 1.5 Comunicações em Conferências e *Workshops*, 13

2. Ações de Formação, 14
 - 2.1 Orientação Científica, 14
 - 2.2 Cursos de Refrescamento para os Operadores do RPI, 14
 - 2.3 Cursos de Treino e Refrescamento para os Técnicos de Radioproteção do RPI, 14
 - 2.4 Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica, 15
 - 2.5 Cursos de Formação Frequentados, 16

3. Outras Atividades, 16
 - 3.1 Ações de Divulgação da Atividade Científica, 16
 - 3.2 Arbitragem em Revistas Internacionais, 16
 - 3.3 Comissões Científicas, 17

1. Atividades de Investigação e Desenvolvimento

O signatário está integrado na equipa do Laboratório de Engenharia Nuclear (LEN) que opera o Reator Português de Investigação (RPI). Além disso, o signatário é membro efetivo do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN) do Instituto Superior Técnico (IST), estando integrado no grupo da Engenharia e Técnicas Nucleares (ETN) deste centro.

1.1 Funções Desempenhadas

1.1.1 Proteção Contra Radiações (Responsável da Radioproteção) no LEN

O signatário é o Responsável da Radioproteção do LEN. Neste contexto, foram executadas diversas tarefas relativas à proteção contra radiações no RPI, que passam a ser descritas.

a) Tarefas de Rotina

- Supervisão do trabalho dos técnicos da Equipa de Radioproteção e Controlo de Qualidade do RPI;
- Elaboração de relatórios anuais e semestrais sobre o controlo radiológico do RPI contendo dados detalhados provenientes dos diversos sistemas de monitorização;
- Elaboração de contribuições para os relatórios anuais do RPI;
- Preparação e supervisão das tarefas relativas ao equipamento da radioproteção na manutenção anual do reator;
- Verificação anual do monitor de gases nobres na chaminé do RPI;
- Revisões anuais do “Programa de Proteção Radiológica do Laboratório de Engenharia Nuclear”;
- Gestão do transporte de materiais irradiados com destinos exteriores ao Campus Tecnológico e Nuclear (CTN).

b) Tarefas de Desenvolvimento do Controlo Radiológico

- Elaboração de estudo sobre as doses de radiação no exterior do edifício do RPI em caso de perda de água da piscina, destinado à Agência Nacional de Proteção Civil;
- Planeamento e implementação de duas áreas controladas no recinto do RPI, uma das quais definida como área de risco de contaminação com barreiras e regras de utilização específicas elaboradas pelo signatário;
- Aperfeiçoamento da sinalização de perigo de radiação e designação de áreas adicionais com acesso restrito no recinto do RPI;
- Instalação de uma área adicional no RPI para armazenamento de material irradiado e elaboração do respetivo inventário detalhado;
- Preparação e apresentação de informação técnica sobre as áreas de proteção radiológica, gestão de resíduos radioativos, limites e condições de operação, análise de segurança e gestão em casos de emergência no RPI para a missão *Integrated Safety Assessment for Research Reactors (INSARR)* conduzido pela *International Atomic Energy Agency (IAEA)* a pedido da Comissão Reguladora para a Segurança das Instalações Nucleares (COMRSIN);
- Planeamento, implementação e verificação de novas blindagens na coluna térmica e num tubo de irradiação do RPI;
- Revisão e aperfeiçoamento de instruções escritas para várias tarefas de controlo radiológico e de manutenção de equipamento de radioproteção do RPI, por forma a assegurar o controlo de qualidade nestas áreas;
- Alteração da gestão de resíduos líquidos oriundos da regeneração das resinas na casa das bombas do RPI e elaboração de novas instruções escritas;
- Revisão dos procedimentos de calibração de vários monitores de radioatividade no ar do recinto e da chaminé do RPI;
- Elaboração, aperfeiçoamento e instalação de procedimentos automatizados para o processamento e análise de dados de radioproteção de diversas origens.

1.1.2 Produção de Isótopos Radioativos no RPI

A produção de radioisótopos é uma das áreas com mais possibilidades de expansão no RPI. Foi investigada e efetuada a produção de vários radioisótopos considerando as limitações devidas aos fluxos de neutrões disponíveis e ao esquema de operação do RPI.

Neste contexto realizaram-se as seguintes tarefas:

- Avaliação e produção de ^{163}Ho através da irradiação de óxido de érbio enriquecido em ^{152}Er para a determinação direta da massa do neutrino. Dois lotes de 22 kBq e 134 kBq foram enviados para Génova, Itália. O ^{163}Ho foi utilizado na produção e teste de detetores supercondutores, com sucesso. Resultaram dois artigos deste trabalho;
- Estudo sobre a produção de ^{99}Mo para geradores de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ usados em medicina nuclear, através da reação de captura de neutrões. O estudo foi realizado no âmbito de uma colaboração internacional envolvendo 13 instituições e liderada pela *IAEA*. O método investigado pode substituir a produção deste isótopo através da aplicação de urânio enriquecido como material-alvo. Foi publicado um artigo que contém a discussão detalhada dos pré-requisitos deste processo e os resultados obtidos pelos diversos participantes.

1.1.3 Outras Atividades Ligadas ao LEN

O signatário também participou nas seguintes atividades ligadas ao LEN:

- Preparação de um estudo do impacto radiológico de uma libertação acidental de material radioativo (fontes de ^{60}Co , ^{137}Cs e ^{226}Ra) do Pavilhão de Resíduos Radioativos do CTN;
- Colaboração em estudos sobre a contribuição dos reatores de investigação no desenvolvimento de reatores de potência da quarta geração, no âmbito do projeto europeu *ARCADIA* (ver 1.2);

- Participação no desenvolvimento e teste de modelos de custo para várias opções de tratamento de combustível irradiado em reatores de investigação, no âmbito do projeto CRP T33001 da *IAEA* (ver 1.2).

1.1.4 Investigação na Área da Ciência de Materiais

Foram desenvolvidas as seguintes atividades no âmbito da ciência de materiais:

- Aperfeiçoamento do programa “CASSIS” para simulação pelo método Monte Carlo de efeitos de canalização de iões em redes cristalinas. Foram introduzidos algoritmos avançados destinados a:
 - avaliação de *Particle Induced X-Ray Emission (PIXE)* em condições de canalização (único programa com esta funcionalidade);
 - cálculo de ionogramas para avaliação de redes cristalinas complexas;
 - cálculo de efeitos de canalização em sistemas multicamadas.

Esta atividade permitiu estabelecer em 2016 colaborações com a Universidade Católica de Leuven, Bélgica, na área da canalização com *PIXE*, e com a Universidade de Jena, Alemanha, na área da canalização em niobato de lítio após implantação iónica;

- Investigação de efeitos de canalização iónica no novo material piezoelétrico *langasite* (Silicato de Lantânio e Gálio) no Laboratório de Aceleradores e Tecnologias de Radiação (LATR) do CTN.

1.1.5 Investigação na Área de Detetores com Líquidos Superaquecidos

A investigação na área de detetores com líquidos superaquecidos integra-se em duas atividades que têm vindo a ser desenvolvidas no C²TN: a pesquisa direta de matéria escura (colaboração SIMPLE) e a determinação do nível da contaminação com emissores alfa em circuitos eletrónicos (projeto ADONICS). O signatário contribuiu com:

- Cálculos detalhados das curvas de Bragg de partículas alfa, iões de recuo emitidos na sequência da desintegração alfa e iões de recuo oriundos das interações entre os neutrões e os átomos dos líquidos superaquecidos, para diferentes energias iniciais dos iões/alfas e diversas condições termodinâmicas de operação dos detetores. Os cálculos incluem o efeito das ligações interatómicas das moléculas dos líquidos sobre os processos de perda de energia da radiação. Os resultados são utilizados na avaliação da sensibilidade dos detetores a vários tipos de radiação e a sua dependência com a temperatura e pressão de funcionamento;
- Avaliação e seleção de emissores alfa naturais para determinação da sensibilidade dos detetores a partículas alfa de baixa energia. A escolha recaiu sobre o samário como elemento mais apropriado;
- Cálculos para determinar as atividades de emissores alfa nas cadeias naturais de decaimento (^{238}U e ^{232}Th) após destruição do equilíbrio secular por processos de purificação química;
- Comparação e avaliação de vários programas de cálculo para determinação da produção de neutrões por reações (n, α) em materiais com elementos leves, relevante para o sinal de fundo medido nas experiências da deteção de matéria escura.

1.2 Projetos de Investigação como Investigador Participante

Título: *Determinação direta da massa do neutrino: contribuição Portuguesa para MARE*

Entidade financiadora: Fundação para a Ciência e Tecnologia

Código de identificação do projeto: PTDC/FIS/116719/2010

Período coberto: 01/07/2012 - 30/06/2014

Título: *Assessment of Regional Capabilities for new reactors Development through an Integrated Approach - ARCADIA*

Entidade financiadora: Comissão Europeia

Código de identificação do projeto: 605116

Período coberto: 01/11/2013 - 31/10/2016

Título: *Método inovador para medir a contaminação de partículas alfa em circuitos integrados - uma contribuição para determinar a incidência de "soft errors" intrínsecos*

Entidade financiadora: Fundação para a Ciência e Tecnologia

Código de identificação do projeto: PTDC/EEI-ELC/2468/2014

Período coberto: 01/07/2016 - 30/06/2019

Título: *Options and Technologies for Managing the Back End of the Research Reactor Nuclear Fuel Cycle*

Entidade financiadora: *IAEA*

Código de identificação do projeto: CRP T33001

Período coberto: 23/02/2015 - 22/02/2018

Título: *Strengthening Capacity for Harmonized Risk Assessment of Nuclear Facilities and Natural Hazards*

Entidade financiadora: *IAEA*

Código de identificação do projeto: RER 9133

Período coberto: 01/01/2016 - 31/12/2017

Participação do signatário como *Country Counterpart*

1.3 Publicações

1.3.1 Em revistas internacionais com arbitragem científica e indexadas na base de dados *ISI Web of Science*

The SIMPLE Phase II Dark Matter Search

M. Felizardo, T.A Girard, T. Morlat, A.C. Fernandes, A.R. Ramos, J.G. Marques, **A. Kling**, J. Puibasset, M. Auguste, D. Boyer, A. Cavaillou, J. Poupene, C. Sudre, H.S. Miley, R.F. Payne, F.P. Carvalho, M.I. Prudêncio, R. Marques
Phys. Rev. D **89** (2014) Art. No. 072013

Preliminary Results of the MARE Experiment

E. Ferri, D. Bagliani, M. Biassotti, G. Ceruti, D. Corsini, M. Faverzani, F. Gatti,
A. Giachero, C. Gotti, C. Kilbourne, **A. Kling**, S. Kraft-Bermuth, M. Maino,
P. Manfrinetti, A. Nucciotti, G. Pessina, G. Pizzigoni, M. Ribeiro Gomes, D. Schaeffer,
M. Sisti
J. Low Temp. Phys. **176** (2014) 885-890

The SIMPLE Dark Matter Search: Present and Future

M. Felizardo, T.A. Girard, A.C. Fernandes, T. Morlat, J. Puibasset, A.R. Ramos,
J.G. Marques, **A. Kling**, F.P. Carvalho, M.I. Prudencio, A. Gouveia, R. Marques,
M. Auguste, D. Boyer, A. Cavaillou, J. Poupenev, C. Sudre
E3S Web of Conferences **4** (2014) Art. No. 03002

Neutron Background Estimates in GESA

A.C. Fernandes, M. Felizardo, T.A. Girard, **A. Kling**, A.R. Ramos, J.G. Marques,
M.I. Prudêncio, R. Marques, F.P. Carvalho
E3S Web of Conferences **4** (2014) Art. No. 03003

*Characterisation of the Epithermal Neutron Irradiation Facility at the
Portuguese Research Reactor using MCNP*

D.G. Beasley, A.C. Fernandes, J.P. Santos, A.R. Ramos, J.G. Marques, **A. Kling**,
Appl. Rad. Isotopes **99** (2015) 186-192

The Status of the MARE experiment with ^{187}Re and ^{163}Ho Isotopes

E. Ferri, D. Bagliani, M. Biasotti, G. Ceruti, D. Corsini, M. Faverzani, F. Gatti,
A. Giachero, C. Gotti, C. Kilbourne, **A. Kling**, M. Maino, P. Manfrinetti, A. Nucciotti,
G. Pessina, G. Pizzigoni, M. Ribeiro Gomes, M. Sisti
Physics Procedia **61** (2015) 227 – 231

Neutron Background in Superheated Droplet Detectors for the Phase II SIMPLE Dark Matter Search

A.C. Fernandes, **A. Kling**, M. Felizardo, T.A. Girard, A.R. Ramos, J.G. Marques, M.I. Prudêncio, R. Marques, F.P. Carvalho, I.L. Roche
Astropart. Phys. **76** (2016) 48-60

R&D of a SIMPLE Bubble Chamber for Dark Matter Searches

M. Felizardo, T.A. Girard, I. Lázaro, A.C. Fernandes, J.G. Marques, T. Morlat, **A. Kling**
E3S Web of Conferences **12** (2016) Art. No. 03002

Detection of Alpha Particle Contamination in ULA Grade Integrated Circuits

A.C. Fernandes, T.A. Morlat, M. Felizardo, **A. Kling**, R.C. Martins, J.G. Marques, A.R. Ramos, I. Lázaro, T.A. Girard, A. Lesea
E3S Web of Conferences **12** (2016) Art. No. 03004

Estimation of ^{99}Mo Production Rates from Natural Molybdenum in Research Reactors

M. Blaauw, D. Ridikas, S. Baytelesov, P.S. Bedregal Salas, Y. Chakrova, Cho Eun-Ha, R. Dahalan, A.H. Fortunato, R. Jacimovic, **A. Kling**, L. Muñoz, N.M.A. Mohamed, D. Párkányi, T. Singh, Van Dong Duong,
J. Radioanalyt. Nucl. Chem. **311** (2017) 4098-418

Intrinsic Noise of a Superheated Droplet Detector for Neutron Background Measurements in Massively Shielded Facilities

A.C. Fernandes, T.A. Morlat, M. Felizardo, **A. Kling**, J.G. Marques, M.I. Prudêncio, R. Marques, F.P. Carvalho, I. Lázaro Roche. T.A. Girard
submetido (European Physics Journal Web of Conferences)

Comparison of Thick-Target (α, n) Yield Calculation Codes

A.C. Fernandes, **A. Kling**, G.N. Vlaskin
submetido (European Physics Journal Web of Conferences)

Neutron - Alpha Irradiation Response of Superheated Emulsion

M. Felizardo, T. Morlat, T.A. Girard, **A. Kling**, A.C. Fernandes, J.G. Marques,
F. Carvalho, A.R. Ramos
Submetido (Nucl. Instr. Meth. A)

1.3.2 Em *Proceedings* de Conferências

A SIMPLE Bubble Chamber for Dark Matter Searches: Testing and Development

A.R. Ramos, M. Felizardo, I. Lazaro, J. Puisbasset, T.A. Girard, A.C. Fernandes,
J.G. Marques, **A. Kling**, for the SIMPLE Collaboration

Em: “2015 4th International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation
Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)” (Lisboa, 20-24 de Abril,
2015), IEEE, 2015, DOI: 10.1109/ANIMMA.2015.7465590

1.3.3 Outros

Education and Training at the Portuguese Research Reactor

J.G. Marques, N.P. Barradas, A.C. Fernandes, **A. Kling**, A.R. Ramos, J.P. Santos
IAEA TECDOC, submetido

1.4 Relatórios Internos

Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)

Report January 1 – June 30, 2014

A. Kling

CTN/RPI-R-2014/129

Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)

Report January 1 – December 31, 2014

A. Kling

CTN/RPI-R-2015/130

RPI Annual Report – 2014

J.G. Marques, N.P. Barradas, **A. Kling**, A.R. Ramos

CTN/RPI-R-2015/131R

Relatório de Anomalia: Aparecimento de Água Junto ao Acesso Horizontal da Coluna Térmica

A.R. Ramos, **A. Kling**, N.P. Barradas, J.G. Marques

CTN/RPI-R-2015/132

Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)

Report January 1 – June 30, 2015

A. Kling

CTN/RPI-R-2015/133

RPI Annual Report – 2015

J.G. Marques, N.P. Barradas, **A. Kling**, A.R. Ramos

LEN/RPI-R-2016/135

Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)

Report January 1 – December 31, 2015

A. Kling

LEN/RPI-R-2016/136

Estimativas de Dose no Exterior do Edifício do RPI em Caso de Perda de Água da Piscina

A. Kling, N.P. Barradas, J.G. Marques

LEN/RPI-R-2016/137

Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)

Report January 1 – June 30, 2016

A. Kling

CTN/RPI-R-2016/139

Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)

Report January 1 – December 31, 2016

A. Kling

CTN/RPI-R-2017/141

RPI Annual Report – 2016

J.G. Marques, N.P. Barradas, **A. Kling**

CTN/RPI-R-2017/142

1.5 Comunicações em Conferências e *Workshops*

1.5.1 Comunicações orais

The Mo-99 Round-Robin at the Portuguese Research Reactor – Procedures and Results

A. Kling

IAEA Consultancy Meeting and Workshop on Inter-Comparison Feedback related to Mo-99 Production Rates by Irradiation of Mo-nat Samples, 7 – 10 de Dezembro de 2015, IAEA Headquarters, Viena

Natural Hazard Assessment and Structural Analysis at the Campus Tecnológico e Nuclear, Portugal

A. Kling

Regional Workshop on Methods and Tools for Natural Hazard Assessment and Structural Analysis of Nuclear Facilities, 27 – 29 de Julho de 2016, IAEA Headquarters, Viena

2. Ações de Formação

2.1 Orientação Científica

Desde Fevereiro 2016

Co-orientação (em colaboração com a Doutora Ana Cristina Fidalgo Palma Fernandes, C²TN) da *Postdoc* Tomoko Morlat na área do desenvolvimento de detetores de líquidos superaquecidos para deteção de partículas alfa e neutrões.

2.2 Cursos de Refrescamento para os Operadores do RPI

15 de Setembro de 2014

Módulo “Sistemas de monitorização radiológica e dosimetria individual: sua correta utilização”.

16 de Junho de 2015

Módulo “Princípios de proteção e segurança radiológica”.

14 de Dezembro de 2016

Módulo “*Operational radiological protection (Chapter 12 of the Safety Analysis Report of the RPI)*”.

2.3 Cursos de Treino e Refrescamento para os Técnicos de Radioproteção do RPI

29 de Maio – 30 de Junho de 2014

Curso de treino para um Técnico de Radioproteção do RPI e curso de refrescamento para os restantes Técnicos de Radioproteção do RPI.

O curso abrangeu a parte teórica do nível 3 (Técnico operador) em acordo com o Dec.-Lei nº 167/2002 de 18 de Julho. A duração total do curso foi de 38 horas das quais 24 foram ministradas pelo signatário nos seguintes tópicos:

- Princípios básicos de radioatividade e radiações, interação e efeitos da radiação;
- Princípios de funcionamento e normas de utilização de detetores e monitores de radiação;
- Segurança radiológica operacional no RPI;
- Tratamento de efluentes radioativos gasosos e líquidos no RPI;
- Análise de potenciais acidentes no RPI;
- Plano de Proteção Radiológica do LEN;
- Avaliação ambiental no CTN.

29 de Dezembro de 2014 – 30 de Janeiro de 2015

Curso de treino para dois Técnicos de Radioproteção, em conjunto com o Laboratório de Proteção e Segurança Radiológica (LPSR) do CTN.

O curso abrangeu a parte teórica do nível 3 (Técnico operador) em acordo com o Dec.-Lei nº 167/2002 de 18 de Julho. Entre 15 e 30 de Janeiro de 2015 o signatário ministrou 25 horas de formação sobre os tópicos acima descritos.

2.4 Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica

Preparação das aulas teóricas e teórico-práticas da unidade curricular obrigatória do Mestrado em Proteção e Segurança Radiológica do IST, “Risco e segurança nas aplicações das radiações ionizantes” a ser dada no semestre de inverno do ano letivo 2017/2018. O signatário é o docente responsável desta unidade curricular.

2.5 Cursos de Formação Frequentados

6 - 12 de Novembro de 2016

“Regional Training Course on Seismic Safety for Nuclear Installations: from Hazard Assessment to Structural Analysis (HASANI-1)” no âmbito do *TC Project RER/9/133* da *IAEA*.

28 de Novembro – 1 de Dezembro de 2016

“Regional Training Course on Flood Safety for Nuclear Installations: from Hazard Assessment to Structural Analysis (HASANI-2)” no âmbito do *TC Project RER/9/133* da *IAEA*.

3. Outras Atividades

3.1 Ações de Divulgação da Atividade Científica

No âmbito das visitas escolares e dos dias de porta aberta foram efetuados pelo signatário cerca de 25 visitas guiadas por ano entre 2014 e 2016.

3.2 Arbitragem em Revistas Internacionais

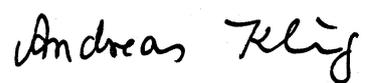
O signatário trabalhou durante o período coberto pelo relatório como árbitro científico para as seguintes revistas internacionais:

- Nanotechnology;
- Journal of Physics D: Applied Physics;
- Physica Scripta;
- Materials Letters
- Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry;
- Nuclear Instruments and Methods B.

3.3 Comissões Científicas

2015 – 2016 Membro do *Steering Committee* do projeto Europeu *ARCADIA* (ver 1.2)

Bobadela, 24 de Fevereiro de 2017

A handwritten signature in black ink that reads "Andreas Kling". The script is cursive and fluid.

Andreas Kling

(Investigador Auxiliar c/ Agregação)