



Exmo. Senhor  
Presidente do Conselho Científico do Instituto  
Superior Técnico  
Prof. Luis Miguel de Oliveira e Silva

**ASSUNTO:** Relatório de Actividades

Andreas Kling, Investigador Auxiliar com Agregação do Laboratório de Engenharia Nuclear e do Centro das Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa vem por este meio submeter para apreciação o relatório pormenorizado das actividades desenvolvidas entre 1 de Abril de 2011 e 31 de Março de 2014.

Com os melhores cumprimentos,



Andreas Kling

ANEXOS: 3 cópias do Relatório de Actividades.

**Relatório de Actividades**  
**no Período 1. 4. 2011 – 31. 3. 2014**

**Andreas Kling**

## ÍNDICE

1. Actividades de Investigação e Desenvolvimento, 3
  - 1.1 Funções Desempenhadas, 3
  - 1.2 Projectos de Investigação como Investigador Participante, 6
  - 1.3 Publicações, 7
  - 1.4 Trabalhos Não Publicados, 8
  - 1.5 Comunicações em Conferências e *Workshops*, 10
  
2. Acções de Formação, 11
  - 2.1 Cursos de Refrescamento para os Operadores do RPI, 11
  
3. Outras Actividades, 11
  - 3.1 Acções de Divulgação da Actividade Científica, 11
  - 3.2 Arbitragem em Revistas Internacionais, 11

## **1. Actividades de Investigação e Desenvolvimento**

### **1.1 Funções Desempenhadas**

O signatário está integrado na equipa de Reactor Português de Investigação (RPI), desempenhando as seguintes funções:

#### **1.1.1 Protecção Contra Radiações (Responsável da Radioprotecção) no RPI**

No âmbito da função de Responsável da Radioprotecção do Laboratório de Engenharia Nuclear, LEN (até Agosto de 2013 Unidade de Reactores e Segurança Nuclear, URSN) foram executadas diversas tarefas relativas à protecção contra radiações no RPI, em complementaridade com as actividades do LEN / da URSN. Especificamente, realizaram-se as seguintes tarefas:

##### ***Tarefas de rotina***

- Supervisão do trabalho dos técnicos do Grupo de Radioprotecção do reactor;
- Elaboração de relatórios anuais e semestrais sobre o controlo radiológico do RPI contendo dados detalhados provenientes dos diversos sistemas de monitorização;
- Preparação e supervisão das tarefas relativas ao equipamento da radioprotecção na manutenção anual do reactor;
- Verificação anual do monitor de gases nobres na chaminé do RPI;
- Gestão do transporte de materiais irradiados com destinos exteriores ao CTN.

##### ***Aperfeiçoamento do controlo radiológico***

- Elaboração do “Programa de Protecção Radiológica do Laboratório de Engenharia Nuclear”;

- Elaboração de vários capítulos do *Safety Analysis Report of the Portuguese Research Reactor* (dois na íntegra, três em colaboração). Este relatório foi submetido em Dezembro 2013 à Comissão Reguladora para a Segurança das Instalações Nucleares (COMRSIN) em cumprimento das exigências do Artigo 40.º do Decreto-Lei n.º 262/2012 de 17 de Dezembro;
- Co-elaboração do “Regulamento do Reator Português de Investigação do Instituto Superior Técnico” submetido em Dezembro 2013 à COMRSIN;
- Elaboração e implementação de um programa de controlo radiológico das áreas vigiadas do LEN / da URSN;
- Estudo da evolução temporal dos débitos de dose de radiação gama em vários lugares no interior e em redor do RPI após um “*Beyond Design Base Accident*” (perda total da água da piscina);
- Revisão e aperfeiçoamento de instruções escritas para várias tarefas do controlo radiológico e da manutenção de equipamento de radioprotecção para assegurar o controlo de qualidade nesta área no RPI;
- Avaliação do impacto radiológico de um aumento da descarga autorizada de  $^{14}\text{C}$  nos efluentes líquidos;
- Elaboração de procedimentos de calibração de vários monitores de radioactividade no ar;
- Instalação e configuração de um monitor de gases nobres radioactivos no recinto do reactor;
- Elaboração, aperfeiçoamento e instalação de procedimentos automatizados para o processamento e análise de dados de radioprotecção.

### **1.1.2 Produção de Isótopos Radioactivos no RPI**

A produção de radioisótopos é uma das áreas com mais possibilidades de expansão no RPI. Foi investigada e efectuada 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  $^{163}\text{Ho}$  através da irradiação de óxido de érbio enriquecido em  $^{152}\text{Er}$  para a determinação directa da massa do neutrino. Dois lotes de 22 kBq (Março de 2012) e 134 kBq (Outubro de 2013) foram enviados para Genova, Itália. O  $^{163}\text{Ho}$  do primeiro lote foi utilizado na produção de detectores e estudado com sucesso. A produção de novos detectores usando o segundo lote está a decorrer. O início da produção de um terceiro lote está prevista para Março de 2014;
- Estudo sobre a produção de emissores de  $^{131}\text{I}$  e  $^{90}\text{Sr}$  através de captura de neutrões;
- Estudo sobre emissores de electrões Auger para aplicação em radioterapia;
- Avaliação dos isótopos produzidos na irradiação de aço tipo 304 no RPI.

### **1.1.3 Outras Actividades Ligadas ao LEN / à URSN**

O signatário também participou em seguintes actividades ligadas ao LEN / à URSN:

- Avaliação das concentrações de Urânio e Tório em materiais usados na blindagem do detector SIMPLE (Superheated Instrument for Massive Particle Experiments) a partir de medidas de outros radioisótopos indicadores;
- Cálculos estimativos (programa Microshield) da evolução temporal de débitos de dose gama no caso de um núcleo derretido (acidente de Fukushima) e da influência de vários materiais de blindagem.

### **1.1.4 Investigação na Área da Ciência de Materiais**

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

- Aperfeiçoamento do programa Monte Carlo “CASSIS” para simulação de efeitos de canalização de iões em redes cristalinas. Foram introduzidos avançados algoritmos para
  - a produção de números aleatórios com distribuição de Gauss,

- o cálculo das forças exercidos nos iões pelos átomos da rede,
- o cálculo da transformação de coordenadas para goniómetros de diferentes tipos.

A introdução de dados pelo utilizador foi simplificada usando um novo formato para o *input*.

- Investigação da perturbação do efeito de canalização em amostras de niobato de lítio com inversão periódica da polarização dos domínios ferroelétricos, no Laboratório de Aceleradores e Tecnologias de Radiação (LATR);
- No âmbito da colaboração SIMPLE para a pesquisa directa de matéria escura foram estudados no LATR os materiais usados na experiência, com vista à determinação do sinal dos detectores devido à componente de neutrões da radiação de fundo:
  - determinação da concentração de Hidrogénio (moderador para neutrões) em amostras de madeira por *Elastic Recoil Detection*. A perda de hidrogénio durante a medição foi monitorizada por estudo da evolução do débito de contagem para a amostra de madeira e dois matérias-padrão (*kaptan* e *mylar*),
  - determinação da concentração de Boro (cuja presença juntamente com emissores alfa induz a produção de neutrões por reacções ( $\alpha, n$ )) no vidro dos detectores, mediante estudos simultâneos de *Nuclear Reaction Analysis*  $^{11}\text{B}(p, \alpha)2\alpha$  e *Non-Rutherford Elastic Scattering* ( $^{11}\text{B}$ ,  $E_p=1.955$  MeV).

## 1.2. Projectos de Investigação como Investigador Participante

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

Entidade financiadora: Fundação para a Ciência e Tecnologia

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

Período coberto: 01/0/2012 - 30/06/2014

### 1.3. Publicações

#### Capítulos em livros:

*Radioactive Waste from Research Reactor Operation and Decommissioning*

J.G. Marques, **A. Kling**

Chapter 2 in '*Radioactive Waste: Sources, Types and Management*', S. Yuan, W. Hidaka (eds.), Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, 2012, ISBN 978-1-62100-188-1, pp. 41-76

*Superheated Liquids and the Search for Astroparticle Dark Matter*

A.C. Fernandes, T.A. Girard, M. Felizardo, J.G. Marques, A.R. Ramos, **A. Kling**, T. Morlat, J. Puibasset, L. Lázaro,

Chapter 4 in '*Recent Developments in Dark Matter Research*', N. Kinjo and A. Nakajima (eds.) Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, 2013, ISBN 978-1-62948-011-4 (e-book), ISBN 978-1-62948-010-7 (hardcover) pp. 131-170

#### Em revistas internacionais com arbitragem científica:

*The refurbished CASSIS Code for Channeling Simulations*

**A. Kling**

Nucl. Instr. Meth. **B273** (2012) 88-90

*Final Analysis and Results of the Phase II SIMPLE 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, A. Gouveia, and R. Marques  
Phys. Rev. Lett. **108** (2012) Art. No. 201302



*Status of the MARE experiment*

M. Ribeiro Gomes, F. Gatti, A. Nucciotti, P. Manfrinetti, M. Galeazzi, E. Alves, D. Bagliani, N. Barradas, S. Basak, M. Biasotti, E. Ferri, **A. Kling**, G. Pizzigoni, K. Prasai and J. Rocha,

IEEE Trans. Appl. Superconductivity **23** (2013) Art. No. 2101204

*Fabrication and Response of High Concentration SIMPLE Superheated Droplet Detectors with Different Liquids*

M. Felizardo, T. Morlat, J.G. Marques, A.R. Ramos, T.A. Girard, A.C. Fernandes, **A. Kling**, I. Lázaro, R.C. Martins and J. Puibasset

Astropart. Phys. **49** (2013) 28-43

*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, and R. Marques

Phys. Rev. D, versão revista submetida

#### **1.4 Trabalhos Não Publicados**

***Relatórios Internos:***

*Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)*

*Report January 1 – June 30, 2011*

**A. Kling**

ITN/RPI-R-11/118

*Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)*

*Report January 1 – December 31, 2011*

**A. Kling**

ITN/RPI-R-12/119

*RPI Annual Report – 2011*

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

ITN/RPI-R-12/120

*Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)*

*Report January 1 – June 30, 2012*

**A. Kling**

ITN/RPI-R-12-121

*Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)*

*Report January 1 – December 31, 2012*

**A. Kling**

CTN/RPI-R-13/122

*RPI Annual Report – 2012*

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

ITN/RPI-R-13/124

*Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)*

*Report January 1 – June 30, 2013*

**A. Kling**

CTN/RPI-R-13-125

*Radiological Control at the Portuguese Research Reactor (RPI)*

*Report January 1 – December 31, 2013*

**A. Kling**

CTN/RPI-R-14-127

*RPI Annual Report – 2013*

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

CTN/RPI-R-14-128

## **Outros:**

### *Safety Analysis Report of the Portuguese Research Reactor*

- *Chapter 11 – Reactor Utilization.* N.P. Barradas, **A.Kling**, J.G. Marques
- *Chapter 12 – Operational Radiological Safety.* **A. Kling**
- *Chapter 16 – Safety Analysis.* N.P. Barradas, **A. Kling**, J.G. Marques
- *Chapter 17 – Operational Limits and Conditions.* N.P. Barradas, **A. Kling**, J.G. Marques
- *Chapter 20 – Internal Emergency Plan of the RPI.* **A. Kling**

Dezembro 2013

### *Dose Calculations for the Maximum Liquid Rejection Levels of the RPI*

**A. Kling**

Dezembro 2013

## **1.5 Comunicações em Conferências e Workshops**

### **1.5.1 Comunicações orais**

#### *The Radiological Protection Plan of the Portuguese Research Reactor*

**A. Kling**

Workshop on Operational Radiation Protection for Research Reactors, 18 – 22 de Março de 2013, IAEA Headquarters, Viena

### **1.5.2 Comunicações em painel (poster)**

#### *The refurbished CASSIS Code for Channeling Simulations*

**A. Kling**

20<sup>th</sup> International Conference on Ion Beam Analysis, 10 - 15 de Abril de 2011, Itapema, Brasil

## **2. Acções de Formação**

### **2.1 Cursos de Refrescamento para os Operadores do RPI**

**29 de Novembro de 2011**

Um módulo sobre “O Plano de Protecção e Segurança Radiológica do RPI”

**13 de Dezembro de 2012**

Um módulo sobre o tema: “Monitores de radiação no RPI - Quais existem? - Como funcionam? - Como usar?” com exercício prático. A este módulo também assistiram os outros técnicos do LEN e os estudantes a trabalhar no RPI.

**14 de Janeiro de 2014**

Um módulo sobre “O Plano de Emergência Interna: procedimentos em caso de DBA e BDBA” com exercício prático.

## **3. Outras Actividades**

### **3.1 Acções de Divulgação da Actividade Científica**

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

### **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;
- Journal of Physics and Chemistry of Solids;

- Spectroscopy Letters;
- Nuclear Instruments and Methods B.

Bobadela, 28 de Fevereiro de 2014

A handwritten signature in blue ink that reads "Andreas Kling". The signature is written in a cursive style with a distinct loop at the end of the last name.

Andreas Kling