

## 1 – INTRODUÇÃO

Em 12 de Outubro de 1955, a Junta de Energia Nuclear (JEN) cria uma comissão encarregada de estudar a aquisição de equipamento-base para este organismo. Num relatório datado de 30 de Novembro de 1955 [1], esta comissão propõe a criação de um Laboratório de Física e Engenharia Nucleares (LFEN), dispondo, como meios fundamentais, de um acelerador de partículas e de um reactor nuclear de investigação.

A JEN aprova o relatório em 6 de Dezembro de 1955 e o Presidente do Conselho aprova o plano de construção do LFEN em 30 de Dezembro do mesmo ano.

A aquisição do reactor é autorizada pelo Conselho de Ministros em 21 de Janeiro de 1957 e a empreitada de construção do respectivo edifício é adjudicada pelo Ministro da Presidência em 5 de Janeiro de 1959.

O reactor funciona pela primeira vez em 25 de Abril de 1961 e o LFEN é inaugurado dois dias depois. O funcionamento à potência nominal (1 MW) ocorre, pela primeira vez, no dia 9 de Abril de 1962.

Por ocasião da passagem do quadragésimo aniversário da inauguração do LFEN, afigurou-se oportuno passar em revista a *utilização que tem sido feita do Reactor Português de Investigação* (RPI). Para o efeito, optou-se por compilar as *publicações* em que se relata o trabalho realizado no nosso País e no estrangeiro, entre 1961 e 2001<sup>1</sup>, fazendo apelo ao reactor como *fonte de radiação* ou como *objecto de estudo*.

Embora tenha sido esta a opção, convém ter presente que nem todas as actividades respeitantes ao RPI deram lugar à produção de publicações. É o caso, nomeadamente, das seguintes:

---

<sup>1</sup> A expressão *entre 1961 e 2001* significa, de facto, *entre Abril de 1961 e Abril de 2001*. A compilação das publicações reporta-se a Maio/Junho de 2001, meses em que foi feito o respectivo levantamento.

- Concepção e realização do actual sistema de comando do reactor — instalado em 1972 —, actividade que mobilizou uma numerosa equipa de engenheiros e técnicos portugueses e que constituiu uma notável oportunidade de especialização em electrónica de processamento de sinais, numa perspectiva de engenharia de sistemas;
- Produção de isótopos radioactivos para fins didácticos, industriais e médicos;
- Estudo da influência das radiações sobre o comportamento mecânico de materiais utilizados em dispositivos de irradiação de amostras no RPI;
- Actividades diversas de protecção contra radiações (controlo radiológico do ar do interior do edificio, da água da piscina e de efluentes líquidos e gasosos; recolha e deposição de resíduos radioactivos sólidos; monitorização de pessoas e locais de trabalho);
- Estágios e trabalhos práticos efectuados por estudantes do ensino superior e, no âmbito do Programa Ciência Viva, por estudantes do ensino secundário;
- Visitas de estudo de alunos de escolas dos ensinos secundário e superior (cerca de 23000 visitantes nos últimos 20 anos).

Antes de apresentar e comentar o resultado da compilação das publicações, é conveniente salientar aspectos relacionados com a *disponibilidade de meios* humanos e materiais associados ao funcionamento do RPI, ao longo dos quarenta anos da sua existência, o que se faz no Parágrafo 2.

No Parágrafo 3, recorda-se a *utilização esperada*, tal com vem expressa em documentos significativos, que foram publicados entre 1955 e 1964.

No Parágrafo 4 — dedicado à *utilização verificada* —, são identificadas as 654 publicações compiladas ([Anexo 1](#)) e são apresentadas as respectivas distribuições por classes (artigos, comunicações, relatórios e teses), por categorias de assuntos e por autores.

No Parágrafo 5, são feitas considerações sobre a *utilização perspectivada* e sobre as necessidades de reforço de meios humanos e materiais dela decorrentes.

Por último, no Parágrafo 6, são enunciadas as principais *conclusões* deste trabalho.

## **2 – DISPONIBILIDADE DE MEIOS**

Na data da inauguração do LFEN, era escasso o *peçoal* ligado à operação do RPI: três licenciados e um operador. No segundo semestre de 1961, foram admitidos três recém-licenciados em Ciências Físico-Químicas, que começaram a ser preparados no domínio da Física dos Reactores, através de uma participação activa nos trabalhos de calibração inicial do reactor.

Em simultâneo, foram admitidos e treinados investigadores e técnicos, enquadrados noutros grupos do LFEN. Deste modo, vão sendo criadas condições para o arranque da utilização do RPI, a partir de 1963.

A evolução dos efectivos do Laboratório de Sacavém, ao longo da sua existência, foi sendo nitidamente influenciada por factores condicionantes que é interessante recordar:

- O dinamismo próprio das fases de arranque e consolidação da instituição (anos 60);
- As sequelas do “25 de Abril” que se traduziram, em particular, num notável êxodo de investigadores que se dedicavam a actividades relacionadas com

reactores nucleares (no início de 1981, havia apenas cinco investigadores no Departamento de Energia e Engenharia Nucleares);

- A decisão da Comissão Instaladora do Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (LNETI)<sup>2</sup> de construir, no Lumiar, um complexo laboratorial cobrindo as áreas não relacionadas com a energia nuclear e de transferir para o novo *campus* numerosos investigadores e técnicos do ex-LFEN (nomeadamente, dos grupos de Análise Química, Electrónica, Informática e Metalurgia);
- A decisão governamental de congelar a admissão de pessoal, a partir de meados dos anos 80, situação que praticamente se prolongou até ao final de 1997 no que diz respeito ao Laboratório de Sacavém<sup>3</sup>;
- As incertezas e ameaças que ensombraram o futuro do Laboratório de Sacavém, a partir do início dos 90 até à decisão de criar o ITN (com efeitos desde 1 de Janeiro de 1995).

Ao longo da existência do RPI, foi necessário introduzir modificações na *instalação*, que afectaram a sua disponibilidade. Os principais períodos de paragem ou de impossibilidade de funcionamento a potências superiores a 100 kW — que se estenderam, no total, por mais de onze anos — foram os seguintes:

- Maio de 1964 a Setembro de 1966: funcionamento em regime de convecção natural (potências até 100 kW) em consequência da ruptura, por corrosão,

---

<sup>2</sup> O LNETI foi criado em 1977, nele se integrando organismos de investigação e unidades laboratoriais que, ao tempo, se encontravam na tutela do Ministério da Indústria e Tecnologia: Instituto Nacional de Investigação Industrial, LFEN, Serviços Centrais da JEN, Laboratório dos Combustíveis da Direcção-Geral dos Combustíveis, Laboratório de Electricidade da Direcção-Geral dos Serviços Eléctricos e Laboratório de Análises da Inspeção-Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais. As instalações do LNETI no Lumiar foram inauguradas no dia 9 de Maio de 1983.

<sup>3</sup> Em Janeiro de 1998, foi autorizada a abertura de concursos para recrutamento de três investigadores auxiliares para o Sector do Reactor. Entre 1989 e 1997, apenas foram celebrados, a título excepcional, três contratos a termo certo, no âmbito da carreira de investigação científica.

de tubos em alumínio do primitivo permutador de calor, o qual foi substituído por um permutador com tubos de aço inoxidável, de fabrico nacional;

- Fevereiro de 1981 a Junho de 1987: funcionamento em regime de convecção natural em consequência da ruptura, por corrosão, da tubagem do circuito primário de refrigeração;
- Julho de 1987 a Janeiro de 1990: paragem do reactor para modernização e modificação das instalações e do equipamento — substituição do revestimento da piscina (aço inoxidável na secção 1 e azulejos na secção 2); substituição da tubagem do circuito primário de refrigeração; substituição da tubagem, da bomba e da torre do circuito secundário de refrigeração; substituição dos mecanismos de movimentação das barras de comando; substituição dos elementos de combustível nuclear (urânio enriquecido a 93% em urânio-235, em vez do enriquecimento do combustível anteriormente utilizado, que era de 20%); instalação de blocos de berílio, para reflexão/moderação de neutrões; melhoria do equipamento de controlo (medição do caudal do circuito primário e medição da diferença de pressão através do núcleo do reactor) e modernização de outros sistemas auxiliares (ventilação do recinto do RPI, tanques de retenção de efluentes situados na casa das bombas, gerador de emergência, etc.). Após esta longa paragem, a primeira experiência crítica ocorreu no dia 18 de Janeiro de 1990. O RPI voltou a funcionar a 1 MW no dia 21 de Fevereiro e entrou em regime normal de exploração a 19 de Março.

A disponibilidade do RPI, entre 1961 e 2000, ressalta claramente da observação da [Figura 1](#) onde está representado o tempo de funcionamento em cada ano. É de notar que, entre Abril de 1967 e Novembro de 1969, o RPI é explorado em regime de dois turnos (das 8H00 às 24H00) às terças-feiras e de um turno nos restantes dias úteis. Desde Novembro de 1969, a exploração passa a ser feita em regime de dois turnos diários, de segunda-feira a sexta-feira.

Na [Figura 2](#), representa-se a energia produzida pelo RPI em cada ano (expressa em megawatt.dia; símbolo: MW.dia)<sup>4</sup>. São ainda mais patentes os períodos em que o reactor não pôde funcionar a potências superiores a 100 kW e em que esteve indisponível por motivo das obras de modernização. Observa-se, ainda, que, a partir de 1990, a energia produzida em cada ano tem sido cerca de metade da produzida nos anos 70. Isto deve-se ao facto de, no passado recente, para economizar o novo combustível, se ter optado por operar o RPI a baixa potência (inferior a 100 kW) sempre que não era indispensável funcionar à potência nominal.

### 3 – UTILIZAÇÃO ESPERADA

Segundo os autores da proposta de criação do LFEN [1], a aquisição de um reactor nuclear de investigação era aconselhável para que fosse possível *a formação de técnicos e a continuação de actividades dos já especializados. Com um tal reactor poderá obter-se prática de funcionamento e controlo dos reactores, poderão realizar-se inúmeras experiências e investigações em vários campos e dispor-se-á de um elemento valioso de ensino. (...) Dentre os trabalhos que podem ser realizados com este reactor, destacam-se:*

- *estudos de física dos neutrões (...)*
- *estudos de carácter químico (...)*
- *estudos de interesse para a Agricultura (...)*
- *estudos de interesse para a Medicina e Biologia (...)*
- *estudos de protecção (...)*
- *estudos sobre reactores (...).*

Como se disse acima, a JEN aprova a proposta de criação do LFEN em 6 de Dezembro de 1955 e o Presidente do Conselho aprova o plano de construção do Laboratório em 30 de Dezembro.

---

<sup>4</sup> A energia produzida é um parâmetro que engloba a potência e o tempo de funcionamento do reactor. A unidade de energia adoptada (MW.dia) equivale a 24 horas de operação do reactor à potência de 1 MW.

Em 25 de Junho de 1956, é feita uma consulta internacional [2] para aquisição de um reactor nuclear destinado à realização de *actividades experimentais e de investigação nos domínios da Física, Química, Engenharia de Reactores, Agricultura, Biologia e Medicina*.

A aquisição do reactor é autorizada pelo Conselho de Ministros em 21 de Janeiro de 1957 e o contrato com a empresa fornecedora — American Machinery Foundry Atomics, EUA — é assinado em 3 de Julho do mesmo ano. Do “Reactor Project and Preliminary Hazards Report” [3], datado de 1 de Junho de 1957, consta a previsão de que o reactor venha a ser utilizado nos seguintes domínios:

- *Física de Reactores. Experiências exponenciais*
- *Física Nuclear e Física de Neutrões*
- *Física do Estado Sólido. Danos causados por radiações*
- *Efeitos benéficos de radiações em Medicina, Biologia, Agricultura e Indústria*
- *Produção de isótopos*
- *Difracção de neutrões*
- *Radioquímica. Química das radiações*
- *Estudos de blindagens (para protecção contra radiações).*

No mesmo relatório, são enumeradas *experiências a iniciar logo que o reactor esteja disponível*. Por último, são indicados os domínios em que algumas instituições portuguesas previam utilizar o reactor: *efeitos biológicos das radiações, conservação de alimentos, produção de mutações úteis em plantas e radioactivação de fertilizantes*.

Na Primeira Reunião dos Técnicos Portugueses de Energia Nuclear, realizada em Lisboa, no mês de Janeiro de 1958, o director-geral do LFEN, Dr. Carlos Cacho, apresenta uma comunicação intitulada “Alguns Comentários sobre a Organização do LFEN” [4] na qual se salienta que *o reactor nuclear de investigação constitui um meio de investigação que não é inferior àqueles que muitos outros países estão adquirindo — incluindo alguns muito mais bem apetrechados*

*cientificamente do que o nosso. A escolha deste tipo de reactor foi determinada pelos seguintes requisitos que se consideram essenciais: que o reactor fosse flexível; que incorporasse diferentes facilidades experimentais de modo a ser possível a realização simultânea de várias experiências; que permitisse a produção de isótopos radioactivos em quantidades razoáveis; que fosse possível usar os elementos de combustível já irradiados como fontes de radiação gama; e, finalmente, que o reactor fosse de tal estrutura que fosse possível considerá-lo como um primeiro passo num programa de instalação de reactores de potência.*

A adjudicação da empreitada de construção do edificio do reactor é autorizada pelo Ministro da Presidência em 5 de Janeiro de 1959. Em 21 de Março, o mesmo membro do Governo autoriza a adjudicação do fabrico dos elementos de combustível.

O reactor funciona pela primeira vez em 25 de Abril de 1961 e o LFEN é inaugurado dois dias depois. Portugal passava a ser o trigésimo quinto país a dispor de um reactor nuclear de investigação [5]. O funcionamento à potência nominal (1 MW) ocorre, pela primeira vez, no dia 9 de Abril de 1962.

Num extenso relatório datado de Dezembro de 1961 e intitulado “LFEN: Estudo sobre a Organização e Desenvolvimento das Actividades” [6], o Dr. Carlos Cacho explicita os domínios de acção possíveis dentro dos Grupos de actividade relacionados com o reactor, entre outros:

◇ ***Grupo de Operação e Exploração do Reactor Nuclear***

- *Operação, exploração e manutenção do reactor nuclear instalado;*
- *Apoio a todos os trabalhos de experimentação a realizar com o reactor;*
- *Realização dos estudos convenientes à progressiva melhor utilização do reactor;*
- *Etc.*

- **Grupo de Física dos Reactores**

- *Problemas gerais de física dos reactores*
- *Estudos com associações subcríticas*
- *Medidas relativas e absolutas do fluxo do reactor instalado; distribuição espacial e energética; medidas de todas as outras características (por exemplo: potência, reactividade, coeficiente de temperatura da reactividade, etc.);*
- *Generalização do anterior a outros reactores;*
- *Etc.*

- ◇ **Grupo de Produção de Isótopos Radioactivos**

- *Produção de isótopos radioactivos mais correntes;*
- *Produção de isótopos radioactivos em relação aos quais a localização do reactor no País seja factor decisivo;*
- *Estudo e resolução dos casos menos correntes e daqueles para os quais se encontrem dificuldades de abastecimento no estrangeiro;*
- *Etc.*

Em 1964, num artigo publicado na revista *Electricidade*, intitulado “LFEN: Objectivos Fundamentais, Principais Características das suas Instalações e Breve Análise do Desenvolvimento Previsto das suas Actividades” [7], o Dr. Carlos Cacho explicita o objectivo fundamental do LFEN como sendo *a criação de uma infra-estrutura técnico-científica capaz de abordar e de resolver a complexidade dos problemas nacionais inerentes à utilização da energia nuclear e, ao mesmo tempo, contribuir para a formação de pessoal especializado nos domínios directa ou indirectamente relacionados com essa utilização*. Seguidamente, enuncia as linhas de orientação da actividade do Laboratório e os domínios de acção dentro de cada Grupo de actividade. Entre estes domínios, figuram os relacionados com a utilização do RPI, que, com algum desenvolvimento, correspondem aos que já figuravam no documento de Dezembro de 1961 [6].

## 4 – UTILIZAÇÃO VERIFICADA

### a) Classes e tipos de publicações

No [Anexo 1](#), estão compiladas as publicações em que se relata trabalho realizado no nosso País e no estrangeiro, entre 1961 e 2001, fazendo apelo ao RPI como *fonte de radiação* ou como *objecto de estudo*. A lista compreende três colunas: (1) na primeira, identifica-se a publicação (cf. abaixo); (2) na segunda, faz-se a descrição da publicação sob a forma usual; (3) na terceira, identifica-se o assunto a que respeita a publicação (cf. abaixo).

As publicações — num total de 654 — estão distribuídas por oito *tipos*, englobados em quatro *classes*. A cada tipo de publicação corresponde um dos códigos de classificação contidos no [Quadro 1](#).

Cada publicação é identificada por um conjunto de três *campos* alfanuméricos colocados sequencialmente e intervalados por um espaço: (1) ano da publicação (dois dígitos); (2) código do tipo de publicação; (3) nome do primeiro (ou único) autor. Por exemplo, *63 RI Cacho* significa que se trata de um *relatório interno* publicado em 1963, de que o nome do primeiro autor é *Cacho* (Carlos Cacho). No caso de haver publicações em que os três campos mencionados coincidem, a sua distinção é feita através da junção de um ordinal à direita: por exemplo, *67 AR Cabral 1*, *67 AR Cabral 2* e *67 AR Cabral 3* identificam os três *artigos* publicados em 1967 por *Cabral* (J.M. Peixoto Cabral).

A lista do Anexo 1 está ordenada cronologicamente; dentro de cada ano, segue a ordem alfabética do código que caracteriza o tipo de publicação; para os mesmos ano e código, segue a ordem alfabética do nome do primeiro autor.

Na [Figura 3](#), representa-se a *distribuição do número total de publicações por classes* (cf. Quadro 1). Os artigos publicados em revistas — quer tenham sido submetidos directamente quer tenham sido previamente apresentados em reuniões científicas — representam 25% do total das publicações. As comunicações

apresentadas em reuniões científicas e publicadas nos respectivos “proceedings” ou como relatórios internos, assim como as que não foram publicadas em texto, correspondem a 38%. Os relatórios internos, as monografias e outros relatórios de difusão restrita atingem 32%. Os restantes 5% dizem respeito a teses e dissertações várias.

## **b) Evolução do número de publicações**

A evolução do número de publicações ao longo do tempo está representada na [Figura 4](#). Os pontos correspondentes aos anos de 1981, 1986 e 1991 estão assinalados com símbolos diferentes (círculo negro, em vez de circunferência) pelas razões que se indicam a seguir. Na análise da figura, importa ter presente que há sempre um “atraso” entre a data de realização de um trabalho e a data de publicação dos resultados obtidos.

O total de publicações acumulado encontra-se representado na [Figura 5](#). Assinalam-se os pontos de inflexão da curva (1981, 1986 e 1991), em que as variações de declive podem ser interpretadas à luz dos comentários feitos a seguir em relação à Figura 4.

De 1963 a 1968, o número de publicações por ano situou-se entre 2 e 6, aumentando ligeiramente entre o final da década de 60 e o início da década de 80, em que o número médio de publicações por ano foi cerca de 8.

Desde 1981 até 1986, o número de publicações cresceu consistentemente. Tendo-se verificado, em Fevereiro de 1981, a ruptura da tubagem do circuito primário — o que obrigou o RPI a funcionar a potências não superiores a 100 kW —, parece estranho que o número de publicações tenha aumentado. Para interpretar esta aparente contradição, há que ter em conta dois factos, pelo menos: (1) em Fevereiro de 1981, foi publicado o estatuto da carreira de investigação científica do LNETI, que veio alterar as “regras” de progressão dos investigadores na carreira, dando uma importância acrescida a trabalhos publicados; (2) no início da

década de 80, a equipa do RPI — então reduzida a cinco elementos com formação universitária — foi reforçada com seis elementos, três dos quais doutorados.

Entre 1986 e 1991, o decréscimo da produção científica é certamente reflexo das obras de modernização levadas a cabo no RPI (paragem em Julho de 1987, com reinício da exploração em Março de 1990).

Desde 1991, tem-se verificado um aumento do número de publicações, ainda que com oscilações circunstanciais. Este aumento deve-se, em grande medida, a duas causas principais: (a) a consolidação das equipas e dos meios de investigação, em particular no Laboratório de Sacavém; (b) as obras de modernização do RPI, de que resultou a disponibilidade permanente do RPI, em condições de fiabilidade e segurança, para funcionar à potência nominal (1 MW), com a vantagem acrescida de se ter passado a dispor de um fluxo de neutrões térmicos muito mais elevado — valor superior a  $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (desde o início de 1990), a comparar com cerca de  $7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (desde o início de 1981 até ao início das referidas obras).

### **c) Distribuição por categorias de assuntos**

Com base na classificação do Sistema Internacional de Informação Nuclear (INIS) da Agência Internacional de Energia Atómica [8], foram estabelecidas categorias de assuntos cujos códigos e descrições constam do [Quadro 2](#). Na terceira coluna da lista do [Anexo 1](#), como se disse acima, indica-se o código do assunto a que se refere cada publicação.

Na [Figura 6](#), está representada a distribuição das publicações por categorias de assuntos. Nesta distribuição, podem ser considerados dois grandes grupos: (1) as publicações respeitantes ao RPI enquanto *objecto de estudo* (182); (2) as publicações em que se fez apelo ao RPI enquanto *fonte de radiação* (472).

Na [Figura 7](#), representa-se a distribuição relativa das 472 publicações referentes ao segundo grupo. Verifica-se que a maior utilização do reactor se destinou a estudos nas áreas das Geociências (21%) e das Ciências do Ambiente (18%). Num segundo grupo, predominam os seguintes domínios: Ciências da Vida (13%); Ciência de Materiais (10%); Física Nuclear e Física das Radiações (10%); e Química (7%).

Como é óbvio, estas constatações — e outras que poderiam decorrer da análise da informação contida no [Anexo 1](#) —, derivam, desde logo, do modo como foram classificadas as publicações por categorias de assuntos. A este respeito, importa referir que, por opção, (1) foi atribuído *um*, e apenas um, código de classificação a cada trabalho e (2) adoptou-se a classificação mais a juzante, privilegiando o objectivo final do trabalho. Assim, no exemplo extremo da Ciência de Materiais (S36), (a) a maior parte dos trabalhos poderia ter sido incluída em Física da Matéria Condensada (S75)<sup>5</sup> e, (b) numa outra perspectiva, esses mesmos trabalhos poderiam ter sido incluídos em Radioisótopos e Fontes Radioactivas (S07), uma vez que a intervenção do RPI consistiu em produzir as fontes radioactivas neles utilizadas.

#### **d) Distribuição por autores**

No [Anexo 2](#), apresenta-se um índice dos 377 autores das publicações contidas no Anexo 1. No [Quadro 3](#), indicam-se os dez autores mais referenciados, distribuídos por três grupos de afiliação (Laboratório de Sacavém, instituições externas nacionais e instituições externas estrangeiras), e repartindo as respectivas publicações por categorias de assuntos.

No [Anexo 3](#), apresenta-se um índice por formas agregadas de publicações (artigos, “proceedings”, comunicações, relatórios e teses).

---

<sup>5</sup> Em termos do INIS, os trabalhos em apreço seriam caracterizados por uma dupla classificação, S36 e S75. Os trabalhos incluídos na Física da Matéria Condensada são os que têm a ver com a utilização de feixes de neutrões e da técnica de difracção de neutrões, em particular na análise estrutural de materiais.

A maior parte das publicações (61%) são da autoria exclusiva de investigadores do Laboratório de Sacavém, independentemente do departamento a que pertençam. A parte restante é da autoria conjunta de investigadores de outras instituições e de investigadores do Laboratório de Sacavém (28%) ou da autoria exclusiva de investigadores e formandos de instituições externas (11%).

As instituições externas a que pertencem os autores que utilizaram directa ou indirectamente<sup>6</sup> o RPI são em número relativamente elevado, não se afigurando relevante enumerá-las exaustivamente neste documento.

Entre as instituições que têm utilizado *directamente* o RPI, são de citar:

#### ***A nível nacional***

- *Instituto de Investigação Científica Tropical* (Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro)
- *Instituto Nacional de Investigação Agrária* (Estação Agronómica Nacional e Estação Nacional de Melhoramento de Plantas)
- *Universidade de Coimbra* (Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia)
- *Universidade de Lisboa* (Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Centro de Física Nuclear)
- *Universidade Técnica de Lisboa* (Instituto Superior de Agronomia).

#### ***A nível internacional***

- **Espanha:** *Instituto Valenciano de Investigações Agrárias e Fábrica de Aluminios Alcoa*, Avilés e Corunha
- **França:** Universidade de Paris VII (Grupo de Física dos Sólidos)
- **Reino Unido:** Universidade de Manchester (Departamento de Ciências da Terra).

Um número considerável de publicações tem como co-autores investigadores de instituições externas (nacionais, estrangeiras ou internacionais) *em colaboração* com investigadores do Laboratório de Sacavém. De entre estas instituições, são de referir as seguintes:

#### ***A nível nacional***

- *Instituto de Investigação Científica Tropical* (Centro de Zoologia)
- *Universidade de Lisboa* (Faculdade de Farmácia)
- *Universidade Nova de Lisboa* (Departamento de Genética da Faculdade de Ciências Médicas).

#### ***A nível internacional***

- **Espanha:** *Universidade Complutense de Madrid* (Departamento de Electrónica); *Universidade Politécnica de Madrid* (Departamento de Física Aplicada); e *Universidade de Valência* (Departamento de Biologia Animal)
- **Bélgica:** *Universidade de Gent* (Instituto de Ciências Nucleares)
- **Canadá:** *Universidade de Dalhousie*, Halifax (Departamento de Química)
- **EUA:** *National Institute for Standards and Technology* - NIST
- **Holanda:** *Universidade Técnica de Delft* (Interfaculty Reactor Institute)
- **Instituições internacionais:** *Agência Internacional de Energia Atómica e Centre Européen de Recherche Nucléaire* - CERN (Divisão *Large Hadron Collider*).

A utilização do RPI por docentes/investigadores de Universidades portuguesas merece um comentário especial, à luz das expectativas iniciais.

---

<sup>6</sup> Mediante trabalhos de investigação em parceria com investigadores do Laboratório de Sacavém.

Com efeito, do já citado relatório da comissão criada pela JEN para estudar a aquisição do equipamento-base para este organismo, constava uma firme aposta na cooperação entre o LFEN e as Universidades portuguesas. Concretamente, nele se pode ler o seguinte:

*É importante salientar que o Laboratório de Física e Engenharia Nucleares cuja montagem se propõe constituirá também um serviço prestado às Universidades portuguesas pois criará as condições para que se melhore a preparação de físicos, de químicos e de engenheiros, e constituirá um centro posto à sua disposição no qual será possível a especialização dos licenciados e de membros dos seus corpos docentes.*

*Foi bem claro nas reuniões da Comissão o desejo de que as Universidades portuguesas colaborem num empreendimento como este, particularmente no que se refere ao envio para o Laboratório, por tempo conveniente, dos cientistas de que dispõem.*

Ora, verifica-se que a utilização do RPI por universitários foi relativamente escassa, quer em termos de formação de discentes (em actividades de graduação ou pós-graduação) e de especialização de docentes, quer em termos de integração de docentes/investigadores em equipas do LFEN e dos Institutos que lhe sucederam.

## **5 – UTILIZAÇÃO PERSPECTIVADA**

O objectivo do presente documento, como se disse no Parágrafo 1, é passar em revista a utilização que tem sido feita do RPI. Não obstante, afigura-se oportuno perspectivar, ainda que brevemente, a utilização do RPI nos próximos anos, à luz da situação actual e de prováveis condicionantes futuras.

Quarenta anos após o início do seu funcionamento, constata-se que actualmente o RPI está a ser utilizado em grande parte na caracterização química de amostras de natureza diversa, com aplicações preponderantes nas áreas das Geociências e das Ciências do Ambiente. Para este efeito, tira-se partido das grandes

potencialidades da *análise por activação com neutrões* (NAA – neutron activation analysis) nas variantes que foram sendo aplicadas no Laboratório de Sacavém: (1) análise instrumental (INAA), por comparação com padrões multielementares [implementada em meados dos anos 70]; (2) INAA pelo método do factor  $k_0$ , por comparação com um monitor de referência (ouro) [meados dos anos 80]; (3) activação cíclica (CINAA) para análise de nuclídeos de vida curta, por comparação com padrões monoelementares [meados dos anos 80]; (4) técnica que faz apelo à radiação gama de captura emitida instaneamente pelas amostras (PGNAA) [início na década de 90].

Actualmente, estão reunidas condições experimentais para se proceder à caracterização estrutural de materiais, em estudos de Física da Matéria Condensada. É com esta finalidade que os seguintes equipamentos têm vindo a ser instalados junto a três tubos de extracção de feixes de neutrões lentos do RPI: (1) difractómetro de tempo-de-voo de neutrões (ETV); (2) espectrómetro de dispersão de neutrões a pequenos ângulos (EPA); (3) difractómetro de neutrões de dois eixos (DIDE). Com estes equipamentos, poder-se-á, nomeadamente: (a) analisar amostras policristalinas e materiais vítreos preparados pelo método sol-gel; (b) efectuar estudos de física de polímeros e de redes poliméricas; e (c) caracterizar sistemas híbridos vidro-polímero e estruturas magnéticas de compostos intermetálicos.

Para além do equipamento referido, continua a dispor-se de vários *dispositivos de irradiação de amostras* junto ao núcleo do reactor (incluindo um sistema pneumático fixo) e de uma *coluna térmica*, com dois acessos (horizontal e vertical). Está prevista a continuação da exploração destes meios, não só para a aplicação da técnica de análise por activação com neutrões, mas também para a produção de radioisótopos e fontes radioactivas, e para estudos referentes a vários domínios científicos de entre os indicados no [Quadro 2](#). Na área das Ciências da Vida, é de salientar a actividade relacionada com a terapia baseada na captura de

neutrões em boro, recorrendo à coluna térmica e a um tubo de extracção de um *feixe de neutrões epitérmicos* que está a ser instrumentado para o efeito.

Este feixe será ainda utilizado para testes de procedimentos dosimétricos, determinação da concentração de hidrogénio em aços, estudo do comportamento de amostras biológicas sob a acção das radiações, etc.

Outro tubo está equipado por forma a permitir a extracção de um *feixe de neutrões rápidos* que está a ser utilizado para estudar o comportamento de componentes electrónicos num campo misto de neutrões rápidos e de fotões gama. Neste tubo, foram igualmente irradiadas varas de citrinos para o IVIA (Valência).

Nestas circunstâncias, tudo indica que a utilização do RPI — que, conforme já foi salientado, beneficiou de importantes obras de modernização no final dos anos 80 — venha a ter um incremento significativo, no futuro próximo. Para isso contribuirá, também, a consolidação e expansão da rede de colaborações de grupos de investigação do Laboratório de Sacavém com grupos de outras instituições nacionais, estrangeiras e internacionais.

Para fazer face a uma maior utilização do reactor, torna-se necessário reforçar os meios humanos e materiais consagrados ao respectivo funcionamento.

Na área dos recursos humanos, urge recrutar investigadores e técnicos, em particular para os núcleos de *operação, cálculo e radiometria* (no primeiro núcleo, só se dispõe de dois investigadores e, em cada um dos restantes, apenas de um). Além disso, é necessário aumentar significativamente os recursos humanos dedicados a actividades de *protecção radiológica* (nomeadamente, cálculo de blindagens) e de *segurança nuclear* (em particular, análise de segurança de dispositivos experimentais a instalar no RPI), a desenvolver no Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear do ITN.

No que diz respeito aos recursos materiais, está prevista a substituição do *sistema de comando* do RPI (que está prestes a completar trinta anos de existência) e a *conversão do núcleo do reactor* para poder funcionar com combustível enriquecido a 20% em urânio-235, uma vez que o actual (à base de urânio enriquecido a 93% em urânio-235) só poderá ser utilizado até Maio de 2006 (até Maio de 2009, todo o actual combustível nuclear do RPI, irradiado ou não, deverá ser enviado para os EUA).

## 6 – CONCLUSÕES

- Neste documento, põe-se em evidência os principais factores, de ordem humana e material, que condicionaram a disponibilidade do RPI ao longo dos quarenta anos da sua existência e recorda-se a utilização esperada, na altura em que o equipamento foi adquirido e instalado.
- Seguidamente, apresenta-se o resultado do levantamento das publicações em que se relata o trabalho realizado em Portugal e no estrangeiro, entre Abril de 1961 e Abril de 2001, fazendo apelo ao RPI, como fonte de radiação ou como objecto de estudo. Embora nem todas as actividades respeitantes ao reactor tenham dado lugar a publicações, estas ilustram bem a utilização que tem sido feita de uma infra-estrutura única no País.
- As 654 publicações compiladas estão distribuídas por oito tipos, englobadas em quatro classes: artigos (25%), comunicações (38%), relatórios (32%) e teses (5%).
- Desde o início dos anos 90, tem-se verificado um aumento do número de publicações atribuível à consolidação das equipas e dos meios de investigação e à disponibilidade permanente do RPI, em condições de fiabilidade e segurança, após as importantes obras de modernização e modificações das

instalações e do equipamento, realizadas entre Julho de 1987 e Janeiro de 1990.

- Numa distribuição por categorias de assuntos, inspirada na classificação do Sistema Internacional de Informação Nuclear da Agência Internacional de Energia Atómica, verifica-se que 28% das publicações dizem respeito a estudos em que o RPI foi utilizado como objecto de estudo.
- Das 472 publicações em que se fez apelo ao RPI como fonte de radiação, a maior parte diz respeito a estudos nas áreas das Geociências (21%) e das Ciências do Ambiente (18%). Seguem-se as áreas das Ciências da Vida (13%), Ciência de Materiais (10%), Física Nuclear e Física das Radiações (10%) e Química (7%).
- A maior parte das publicações (61%) é da autoria exclusiva de investigadores do Laboratório de Sacavém. A parte restante é da autoria conjunta de investigadores do Laboratório de Sacavém e de outras instituições (28%) ou da autoria exclusiva de investigadores e formandos de instituições externas. A utilização do RPI por docentes/investigadores de Universidades portuguesas merece um comentário, à luz das expectativas iniciais.
- Quarenta anos após o início do seu funcionamento, constata-se que o RPI está a ser utilizado em grande parte para efeitos de caracterização química de amostras de natureza diversa, pela técnica de análise por activação com neutrões, e que estão reunidas condições experimentais para se proceder à caracterização estrutural de materiais, recorrendo à técnica de difracção de feixes de neutrões. Outros dispositivos experimentais disponíveis e em fase de montagem, assim como a consolidação da rede de colaborações de grupos de investigadores do Laboratório de Sacavém com grupos de outras instituições, nacionais, estrangeiras e internacionais, deixam antever um incremento da utilização do RPI, no futuro próximo. Para fazer face a esta ante-

visão, torna-se necessário reforçar os meios humanos e materiais consagrados ao funcionamento do reactor.

- Finalmente, é conveniente salientar que o RPI não é a única infra-estrutura de I&D existente no Laboratório de Sacavém que tem estado à disposição de investigadores de outras instituições. Por isso, a colaboração institucional que faz apelo ao RPI representa apenas uma parte do envolvimento do Laboratório em projectos que contam com a participação de investigadores pertencentes a estabelecimentos de ensino superior universitário e/ou de outras entidades. Pela mesma razão, as publicações compiladas neste documento representam, obviamente, apenas uma parte da produção científica do Laboratório de Sacavém. A este respeito, e a título exemplificativo, é de referir o seguinte: no *período 1990-2000*, as 20 teses publicadas envolvendo a utilização do RPI representam apenas 12% do número total de teses (170) produzidas no âmbito do Laboratório de Sacavém.

### **Agradecimento**

A elaboração do presente documento não teria sido possível sem a valiosa colaboração dos muitos Colegas que nos facultaram a indispensável informação para levar a bom termo o levantamento das publicações. A todos agradecemos o empenhamento e a prontidão da sua participação. Um agradecimento especial é devido ao doutor José Salgado (investigador-coordenador, Sector de Física), ao doutor José Marques (investigador auxiliar, Sector do Reactor), ao engenheiro Romão Trindade (investigador auxiliar, DPRSN) e à doutora Maria Isabel Dias (bolseira de pós-doutoramento, Sector de Química) pelo trabalho adicional que tiveram, em particular tendo em vista a pesquisa de lacunas, a correcção de imperfeições e a classificação das publicações por categoria de assuntos.

## Bibliografia

- [1] ROCHA, M.C.M., *et al.*: *Relatório da Comissão encarregada do Estudo da Aquisição de Aceleradores de Partículas e de Reactores*, Junta de Energia Nuclear, Lisboa (1955)
- [2] *Tender Conditions for the Supply and Assembly of a Swimming Pool Nuclear Reactor and Experimental Research Equipment*, Lisboa (1956)
- [3] CACHO, C.F.M., CABRITA, R.M., GALVÃO, J.P.: *The Portuguese One Megawatt Swimming Pool Research Reactor: Reactor Project and Preliminary Hazards Report*, Lisboa (1957). DOC.LFEN 1β, Sacavém (1963)
- [4] CACHO, C.F.M.: *Alguns Comentários sobre a Organização do Laboratório de Física e Engenharia Nucleares*, in *Comunicações da Junta de Energia Nuclear à 1ª Reunião dos Técnicos Portugueses de Energia Nuclear*, Junta de Energia Nuclear, Lisboa (1958)
- [5] OLIVEIRA, J.M.C.: *Nuclear Research Reactors in the World*, ITN/RPI-N-96/18, Sacavém (1996)
- [6] CACHO, C.F.M.: *Laboratório de Física e Engenharia Nucleares: Estudo sobre a Organização e o Desenvolvimento das Actividades*, Junta de Energia Nuclear, Lisboa (1961)
- [7] CACHO, C.F.M.: *Laboratório de Física e Engenharia Nucleares: Objectivos Fundamentais, Principais Características das suas Instalações, Breve Análise do Desenvolvimento Previsto das suas Actividades*, *Electricidade* N° 30 (1964) 147-158
- [8] *Preliminary Version of the Common Subject Categories and Scope Descriptions*, ETDE/INIS — Attachment to INIS Circular Letter N° 161, 1999-12-01 — International Atomic Energy Agency, Vienna (1999).