
PREFÁCIO

Desde a sua inauguração em 1958, o reator IEA-R1 tem na pesquisa uma de suas principais funções.

Nos primeiros anos de operação, a maioria das pesquisas referia-se à operação do reator em si, já que toda aquela tecnologia ainda era bastante recente. Nesse sentido, estudava-se métodos de determinação de potência, níveis de radiação acumulada nos diversos subsistemas, bem como níveis de calor e sua dependência temporal.

A partir dos primeiros anos da década de 1960, no entanto, começaram os trabalhos empregando a técnica de ativação neutrônica, que consiste na irradiação de uma amostra com nêutrons, medindo-se então a radioatividade induzida com o intuito de determinar a composição química da amostra. Alguns dos primeiros trabalhos nesse sentido objetivavam a determinação de urânio, tório e terras raras em minérios de urânio, bem como a determinação de elementos-traço em cabelos humanos, visando o uso forense. Nestes anos iniciais, a técnica exigia a separação química dos elementos de interesse, já que a amostra seria analisada em um contador beta, que não é capaz de distinguir a radiação dos diferentes radionuclídeos. Em poucos anos o uso dessa técnica foi se ampliando para outras matrizes e elementos e, com a chegada de novos detectores cintiladores, que analisavam a radiação

gama e permitiam a análise simultânea de mais de um radionuclídeo, tornou-se uma das linhas de pesquisa mais amplas e prolíficas do instituto.

Também nesta época foram feitos muitos estudos no sentido de utilizar-se nuclídeos radioativos como traçadores para medicina, estudos de cinética química e rendimento químico, entre outros. Dentre esses traçadores, o ^{131}I foi desenvolvido no IEA-R1, tendo a primeira dose produzida para distribuição em 1959.

Outra linha de pesquisa que surge desde os primeiros anos de operação do reator está ligada à metrologia de radiações, tanto na determinação dos fluxos neutrônicos em diversas posições no reator como, posteriormente, na determinação precisa de atividades de radionuclídeos. Esta linha, posteriormente, expandiu-se para a determinação de doses de radiação incidentes em trabalhadores e, a partir dos anos 2000, também para a dosimetria de radiações em pacientes submetidos a tratamentos com o uso de radiação.

Na segunda metade da década de 1960, ficou patente a necessidade de investir-se no uso dos feixes de nêutrons disponibilizados pelo reator. Dessa maneira, foi inicialmente montado, usando essencialmente peças recuperadas de outros equipamentos e material nacional, um espectrômetro de um eixo que era utilizado para determinação do espectro de nêutrons nos *beamholes* do reator. Além disso, este equipamento foi amplamente utilizado como monocromador em determinações de secção de choque total para terras raras e materiais hidrogenados, medida pela transmissão de nêutrons, na faixa de energias de 0,001 a 1 eV.

No final da década de 60, mais três grandes equipamentos foram acoplados aos *beamholes* do reator: um espectrômetro de tempo de voo, um espectrômetro de 3 eixos e um difratômetro de nêutrons.

O espectrômetro de tempo de voo contava com um filtro de berílio mantido a temperatura de nitrogênio líquido, para deixar passar apenas nêutrons frios, de baixíssima energia, que então incidiam sobre uma amostra de interesse, onde as colisões com os átomos do material aumentavam a energia dos nêutrons. Os nêutrons espalhados pela amostra passavam de um *chopper* para pulsar o feixe, e sua energia era medida pelo método do tempo de voo, permitindo a análise da dinâmica dos átomos presentes na amostra. Este mesmo equipamento também podia ser utilizado em determinações de secção de choque total para nêutrons de baixa energia.

O segundo aparato, um espectrômetro de três eixos, tinha como objetivo a determinação de relações de dispersão para as vibrações de rede em cristais, usando o espalhamento coerente de um feixe monocromático de nêutrons produzido por um monocromador de cristal de cobre, enquanto um cristal de grafite pirolítica era usado como analisador do feixe espalhado.

Já o difratômetro de nêutrons consistia em um espectrômetro de dois eixos, onde a variação angular da difração dos nêutrons do feixe por uma amostra era utilizada para estudar a estrutura cristalina da amostra, bem como para estudar a estrutura magnética de metais.

Com todas essas linhas operacionais, seguiram-se novos aparatos, para estudos em física nuclear básica e aplicada, utilizando-se os raios gama prontos produzidos na captura neutrônica.

Na primeira destas linhas, usava-se a quantificação dos raios gama prontos para analisar a composição química da amostra, numa técnica conhecida como PGNAA, que é uma variação realizada *in beam* do método de análise por ativação, ou seja, a medida é feita com a amostra exposta a um feixe de nêutrons. Essa técnica é vantajosa para elementos onde não há a emissão de raios gama pelo núcleo produzido na captura neutrônica, sendo de certo modo complementar à análise por ativação convencional.

A outra linha, instalada num canal tangencial ao núcleo do reator, era utilizada para estudos de reações fotonucleares, em especial por meio de medidas de secção de choque de fotofissão. Nesse canal eram inseridos materiais com secção de choque de captura adequada, e usava-se os raios gama prontos gerados como feixe de irradiação.

Além dessas linhas, todas instaladas no andar experimental do reator nuclear IEA-R1, já no final dos anos 1960 eram feitos também estudos de estrutura nuclear, estudando-se o decaimento de núcleos radioativos produzidos por irradiação com nêutrons.

Logo nos primeiros anos da década de 1970 chegaram os primeiros detectores gama de alta resolução, semicondutores de germânio dopados com lítio (substituídos, ao longo dos anos, por semicondutores de germânio hiperpuro, ainda em operação) que permitiam a análise simultânea de todos os radionuclídeos compatíveis com a técnica de ativação neutrônica sem qualquer tipo de pré-preparo químico da amostra. Com estes novos detectores, o laboratório de ativação neutrônica aumentou em muito sua produtividade, ao mesmo tempo em que melhorou a precisão dos resultados obtidos.

No decorrer da década de 1980, foi adicionado um equipamento dedicado à neutrografia – também conhecida como radiografia com nêutrons – técnica que usa o espalhamento e a absorção de nêutrons para produzir imagens fotográficas. Essa técnica é complementar à radiografia convencional, já que enquanto os fótons são fortemente absorvidos por materiais de alto número atômico, os nêutrons são fortemente espalhados por material hidrogenado, penetrando facilmente camadas metálicas. Este primeiro equipamento ficava submerso na piscina do reator, e as

medidas eram realizadas pelo método de transferência, onde uma imagem latente radioativa é produzida em um alvo, que é então colocado em contato com um filme fotográfico para produzir a imagem visual.

Entre o final dos anos 1970 e o começo dos anos 1990, boa parte destas linhas de pesquisa floresceram e foram atualizadas, aumentando sua capacidade de análise.

No final dos anos 1970, os estudos de estrutura nuclear passaram a incluir a técnica de correlação angular gama-gama, que permite determinar spins e paridades de níveis excitados, e posteriormente foi adicionado um eletroímã que permitia a determinação de fatores giromagnéticos.

Também foi feita uma atualização na linha de medidas de reações fotonucleares, montando-se um arranjo completamente novo com o intuito de reduzir-se o ruído e a incidência de nêutrons nos equipamentos externos.

Além disso, iniciou-se uma linha de pesquisas para determinação de campos hiperfinos eletromagnéticos, usando amostras irradiadas no reator e técnicas como correlação angular perturbada e espectroscopia de efeito Mössbauer.

O laboratório de ativação neutrônica, por sua vez, foi inteiramente reequipado com detectores gama de alta resolução, e novas linhas de pesquisa foram surgindo, com ênfase em medidas relacionadas ao meio-ambiente e à arqueologia. Também foi feito, em conjunto com o projeto nuclear brasileiro, um grande esforço em um sistema para detecção de nêutrons retardados, técnica importante para a determinação de urânio.

No final da década de 1980 foi instalado um novo arranjo para as medidas de neutronografia, agora instalado externamente à piscina, em um dos *beamholes* do reator. Essa linha de pesquisa veio rapidamente ao encontro das necessidades da então florescente indústria aeroespacial nacional, uma vez que poderia facilmente determinar, por meio de análises não-destrutivas, bolhas nos explosivos utilizados para separar estágios de foguetes.

Ao longo dos anos 1990, algumas linhas de pesquisa foram desativadas, por obsolescência dos equipamentos – casos dos espectrômetros de tempo de voo, um eixo e três eixos. Também foi construído um difratômetro de nêutrons completamente novo, de alta resolução, cujo potencial o coloca entre os melhores aparelhos do tipo no mundo – este difratômetro, construído inteiramente no Brasil, foi inaugurado em 2004.

Por outro lado, as pesquisas em análises por ativação neutrônica intensificaram-se, com o Laboratório de Ativação Neutrônica compondo um dos mais prolíficos e respeitados grupos de pesquisa na área no mundo. As análises, realizadas nos mais diversos tipos de matrizes, encontram aplicação nas áreas de meio-ambiente, mineralogia, agricultura, saúde e arqueologia, entre outras.

Também as pesquisas em interações hiperfinas e correlação angular perturbada tiveram um grande impulso, com aplicações nas áreas de nanotecnologia, biotecnologia, além de estudos em física básica.

Em todos esses anos houve, também, muita pesquisa voltada ao desenvolvimento de instrumentação, no início com o intuito de servir de apoio às demais atividades de pesquisa mas, progressivamente, também como uma linha de pesquisa com vida própria, com ênfase em estudos de detectores e sistemas de aquisição e processamento de dados, voltados às necessidades específicas encontradas no reator nuclear IEA-R1.

Toda essa produção científica recebeu destaque nacional, com diversos trabalhos sendo apresentados logo na 1ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Física, em 1966 – fato que se repete até os dias atuais, com diversos trabalhos sendo apresentados anualmente nas reuniões de sociedades científicas nacionais, bem como em importantes conferências internacionais de física e química, além de um considerável volume de artigos científicos publicados em periódicos internacionais importantes.

Nos últimos anos, uma das primeiras linhas de pesquisas do reator IEA-R1 tem sido retomada, a produção de radioisótopos em reatores de pesquisas para aplicações na medicina. Radioisótopos como o ^{177}Lu , ^{47}Sc e microesferas de ^{166}Ho tem sido objetos de desenvolvimento cujo objetivo final é a produção para a fabricação de radiofármacos.

Diretamente relacionada com todas as atividades de pesquisa, o reator IEA-R1 teve papel importantíssimo na formação de recursos humanos, adicionalmente à formação de operadores de reator, especializados em técnicas nucleares por meio de programas de pós-graduação – vale ressaltar que a grande maioria dos pesquisadores que hoje trabalham nos laboratórios associados ao reator IEA-R1 fizeram sua pós-graduação (tanto mestrado quanto doutorado) no próprio instituto.

Essa sinergia entre produção, pesquisa tecnológica e científica e formação de recursos humanos faz do reator IEA-R1 um dos equipamentos mais importantes e prolíficos na área científica no Brasil, com mais de 60 anos de história já escrita, e com muita história ainda a escrever.

Guilherme Soares Zahn
Frederico Antônio Genezini