

UM SISTEMA DOSIMÉTRICO DE REFERÊNCIA PARA O INTERVALO DE DOSES DA RADIOTERAPIA BASEADO NA ALANINA/RPE

Orlando Rodrigues Júnior*; Ocimar L. Galante; Letícia L. Campos

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN
Travessa R, 400 Cidade Universitária - São Paulo, SP – Brasil
C.P. 11.049 - CEP 05422-970

*e-mail: rodrijr@net.ipen.br

RESUMO

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um Sistema Dosimétrico de Referência baseado na alanina/RPE para intervalo de dose encontrado nos serviços de radioterapia. Atualmente, o IPEN está concluindo um sistema semelhante para o intervalo de dose utilizado na irradiação de produtos, 10 a 10⁵ Gy. O objetivo deste trabalho é apresentar os esforços no sentido de melhorar a precisão de medida para doses no intervalo de 1 a 10 Gy. Este sistema poderá ser utilizado como referência para serviços de radioterapia, tanto no controle de qualidade dos equipamentos, como para acompanhamento rotineiro de tratamentos mais complexos onde as doses totais podem atingir alguns grays. O sistema utiliza a alanina como detector de radiação e a ressonância paramagnética eletrônica – RPE como técnica de medida. Para alcançar precisão melhor que 5%, estudos sobre a melhor parametrização do espectrômetro de RPE e métodos matemáticos para o tratamento do sinal de RPE são discutidos.

Key Words: dosimetry, gamma-radiation, EPR, and high doses.

I. INTRODUÇÃO

A ressonância paramagnética eletrônica – RPE é uma técnica espectrométrica amplamente utilizada no campo da dosimetria. A RPE permite a quantificação do número de elétrons desemparelhados formados em uma amostra irradiada por campos de elétrons, raios X, radiação gama e nêutrons, sendo possível uma correlação do espectro obtido com a dose absorvida recebida pelo material [1].

Dosímetros construídos com o aminoácido alanina como detector de radiação são muito utilizados em dosimetria de instalações industriais e dosimetria de transferência, cobrindo um intervalo de dose de 10 a 10⁵ Gy.

Nas últimas décadas, no Brasil, a rede de serviços de radioterapia vem sendo ampliada com a aquisição de novos equipamentos e a continuidade no uso de equipamentos mais antigos. Com a crescente demanda, novos procedimentos e métodos dosimétricos são necessários para garantir a qualidade dos serviços. Nesse sentido, o Ipen iniciou o desenvolvimento de um sistema de dosimetria para doses altas baseado na

alanina/RPE para o intervalo de dose da radioterapia. O objetivo é a implantação de um serviço de dosimetria rotineiro de referência, rastreável a um padrão secundário, disponível para clínicas e hospitais, para o auxílio no controle de qualidade de equipamentos.

Internacionalmente, esforços para o estabelecimento de serviços rotineiros similares foram iniciados na década de 90 pelo NPL e pelo NIST, alcançando bons resultados [2-6]. Apesar de tradicionalmente já estarem disponíveis outros dosímetros para a realização dessa atividade, a técnica proposta apresenta um conjunto de vantagens que a torna atrativa. Dentre essas vantagens podemos destacar: a equivalência da alanina ao tecido humano, não apresenta dependência energética, apresenta pequeno decaimento do sinal com o tempo decorrido após a irradiação e fácil manuseio. Além disso, o método é não-destrutivo, permitindo o uso de técnicas aditivas para avaliações incrementais de doses absorvidas, o que é muito interessante em radioterapia.

Apesar de todo o potencial da RPE para avaliações de dose no intervalo da radioterapia, apenas na última década os avanços nos

espectrômetros e nas técnicas de aquisição e tratamento dos espectros possibilitaram medidas de dose abaixo de 10 Gy, com incerteza total na ordem de 2% [6, 7].

Atualmente o IPEN está desenvolvendo um sistema dosimétrico para dosimetria de doses altas baseado na alanina/RPE para o intervalo de dose de 10 a 80 kGy, com incertezas totais na ordem de 5%, adequadas às avaliações de dose em instalações de irradiação de grande porte [8].

O objetivo deste trabalho é apresentar o estado atual do desenvolvimento de um sistema dosimétrico baseado na alanina/RPE para o intervalo de doses da radioterapia e discutir as principais fontes de incertezas associadas com o processo, indicando as melhorias e as modificações que estão sendo implementadas com o intuito de diminuir as incertezas para medidas no intervalo de doses de 1 a 10 Gy.

II. MATERIAL E MÉTODOS

Dosímetro

O dosímetro originalmente desenvolvido no IPEN utiliza DL-alanina disponível comercialmente com alto grau de pureza (>99%). O dosímetro é constituído de duas partes: o detector e o porta-detector. A Figura 1 apresenta um diagrama simplificado do dosímetro. A alanina pura é acondicionada em um pequeno tubo confeccionado em polietileno e selada, formando assim o detector de radiação. Cada detector tem 100 mg de DL-alanina.

Não é utilizado nenhum agregante para melhorar a resistência mecânica, que é garantida pelo tubo de polietileno. O porta-detector é confeccionado em polietileno de alta densidade.

Aquisição e tratamento dos dados

Para a realização da leitura, os detectores irradiados são retirados do porta-detector, acondicionados em um tubo de quartzo e posicionado na cavidade do espectrômetro. Como o objetivo é a redução das incertezas, os procedimentos de leitura e de tratamento dos espectros foram otimizados.

No intervalo de dose de 1 a 10 Gy, o espectro da alanina irradiada apresenta péssima relação sinal – ruído. Para melhorar os resultados, uma parametrização otimizada do equipamento de ressonância deve ser realizada.

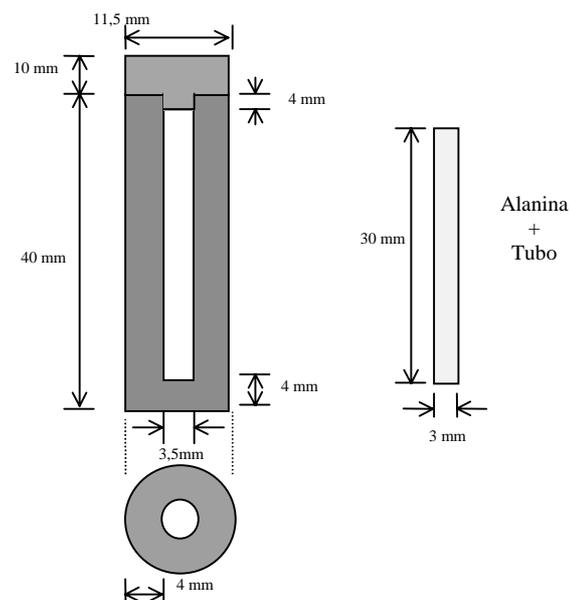


Figura 1. Desenho simplificado do detector e do porta detector.

Em geral, para a detecção de sinais de amplitude baixa, pode-se aumentar a potência de microondas, a amplitude de modulação ou o tempo de aquisição do espectro. No entanto, um excessivo aumento na potência de microondas ou na amplitude de modulação pode distorcer o sinal.

A dose absorvida pelos detectores é estimada correlacionando-se a altura (h) pico a pico do principal elemento do espectro de RPE da alanina irradiada com a curva de calibração dose-resposta construída previamente para o lote de detectores. A Figura 2 apresenta um espectro característico da alanina irradiada com radiação gama para uma dose de 500 Gy.

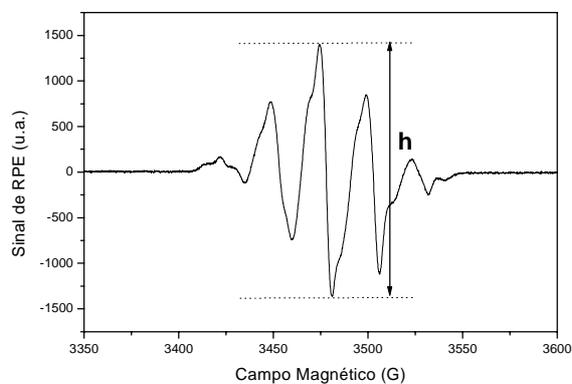


Figura 2. Espectro característico de DL-alanina irradiada com radiação gama do Co-60.

Os parâmetros utilizados nas avaliações preliminares estão apresentados na Tabela 1. Os primeiros testes foram efetuados para as doses: 1, 2, 5 e 10 Gy. Para as irradiações, foram utilizadas duas fontes de Co-60 calibradas com dosímetros Fricke. Alguns parâmetros foram variados durante as medidas para avaliação da sensibilidade dos resultados. Testes de rotação da amostra na cavidade indicaram muito pouca variação na amplitude do sinal medido.

Tabela 1 – Principais parâmetros utilizados nas medidas preliminares para doses abaixo de 10 Gy.

Parâmetro	Intervalo
Potência de Microondas	1 - 6,37 mW
Amplitude de Modulação	10 G (1 mT)
Número de varreduras por amostra	5 - 10
Largura do campo	100 - 400 G (10 - 40 mT)

As medidas de RPE foram feitas em um espectrômetro Bruker EMX.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais problemas na estimativa de doses abaixo de 10 Gy estão associados às dificuldades na interpretação dos espectros obtidos.

Em geral, o sinal de RPE é perturbado por dois grupos de ruídos: os de baixa frequência e os de alta frequência [3].

Os ruídos de baixa frequência distorcem a linha de base do espectro deformando o sinal. Podem ter origem no próprio material detector (sinal de fundo da alanina), no encapsulamento do detector, nas condições de medida (como geometria da cavidade) ou no tubo de quartzo. No caso do detector fabricado no IPEN, pouco sinal de fundo é induzido, já que a alanina é apenas peneirada e acondicionada no tubo de polietileno. Uma provável origem dos ruídos de baixa frequência no presente estudo está no material encapsulante e nas condições da cavidade durante as medidas.

Os tubos de quartzo, a principal fonte de ruídos de baixa frequência, são selecionados, limpos, e medidos vazios, sendo que os espectros resultantes apresentam um sinal significativo na região de interesse e que pode ser descontado para a correção da linha de base do espectro.

Os ruídos de alta frequência, decorrentes da péssima relação sinal-ruído para essa região de

dose, têm origem na eletrônica acoplada do equipamento e podem ser filtrados do espectro utilizando-se técnicas matemáticas adequadas, como transformadas de Fourier ou outras técnicas de análise de sinal [7].

Como exemplo do processo, a Figura 3 apresenta um espectro bruto, obtido com parametrização otimizada para um detector de alanina irradiado com 1 Gy. Apesar da amplitude baixa, pode-se notar que o sinal característico proveniente dos radicais livres formados na alanina irradiada está presente.

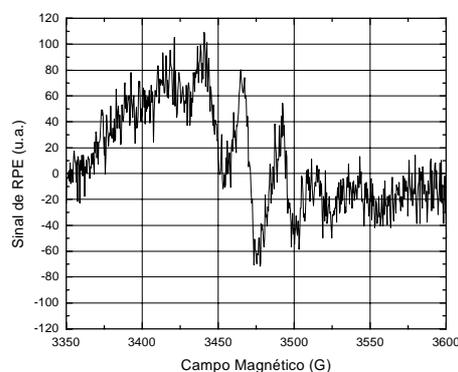


Figura 3. Espectro de alanina irradiada com 1 Gy sem o pós-processamento.

O espectro apresenta uma forte distorção na sua linha de base e uma interferência de alta frequência realçada pela pequena amplitude do sinal, que dificultam a interpretação e a correta avaliação da dose absorvida pelo dosímetro. Descontada a linha de base do conjunto tubo de quartzo vazio + cavidade, e utilizando um filtro FFT, obtêm-se um espectro mais limpo com um sinal mais nítido e passível de uma estimativa de dose com maior precisão.

A figura 4 apresenta o espectro anterior pós-processado. Nessa etapa preliminar, foram irradiados 2 conjuntos com dois dosímetros para cada dose: 1, 2, 5 e 10 Gy. Em todos os casos o procedimento foi de otimização da parametrização do espectrômetro e pós-processamento dos espectros, corrigindo a linha de base e atenuando os ruídos de alta frequência pela aplicação de filtros adequados.

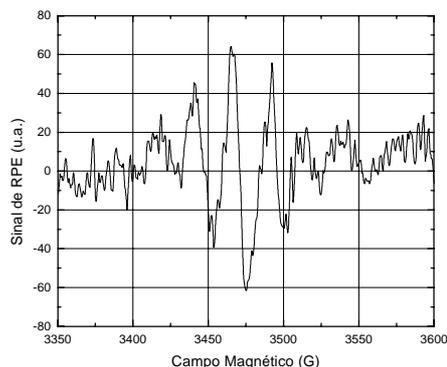


Figura 4. Pós-processamento do espectro da figura 3.

Para sistematizar o processo, foi elaborado um programa computacional que converte os arquivos originais do espectrômetro, realiza as operações de manipulação do espectro e estima a dose a partir da curva de calibração do sistema.

Os resultados obtidos após o processamento de cada espectro apresentaram desvios no intervalo de 3,5 a 5,0% em relação aos valores esperados. A figura 5 apresenta os resultados obtidos em termos da variação percentual entre o valor medido e o esperado para cada ponto de dose avaliado.

IV. CONCLUSÃO

Dosímetros de alanina/RPE podem ser utilizados com sucesso para o intervalo de doses da radioterapia. Para o sistema que está sendo desenvolvido no IPEN, alguns pontos ainda devem ser trabalhados. Como mostra a figura 5, para doses abaixo de 5 Gy, incertezas nas avaliações da dose absorvida recebida pelo dosímetro crescem rapidamente.

Um dos pontos críticos na avaliação dos erros globais do sistema é a construção de uma adequada curva de calibração para a região de 1 a 10 Gy. Outro ponto importante que ainda está sendo estudado, é a melhoria no processo de medida e pós-processamento dos dados.

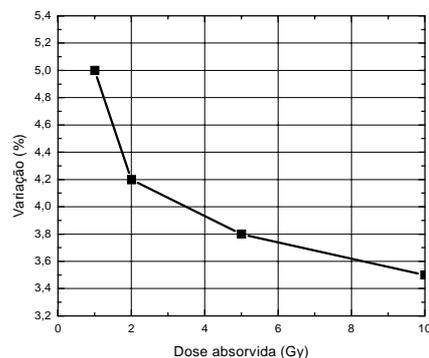


Figura 5. Variação da dose obtida para os dosímetros de alanina em função da dose absorvida.

Em outros sistemas dosimétricos, o maior problema para estender o limite inferior de detecção para a região de 1 a 10 Gy está associado aos esforços para diminuir o sinal induzido na alanina durante o processo de fabricação do dosímetro. No sistema desenvolvido no IPEN, pouco sinal é induzido durante o processo de fabricação do dosímetro.

O próximo passo é a padronização do sistema para incorporar protocolos de controle de qualidade utilizados nos serviços de radioterapia.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFUSP pela utilização do espectrômetro Bruker e ao CNPq e à FAPESP pelos auxílios concedidos.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] Regulla, D. F.; Deffner U. Dosimetry by ESR spectroscopy of alanine. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* v. 33, pp. 1101-1114, 1982.
- [2] Regulla, D. F. EPR Dosimetry – Present and Future. In *IAEA: Techniques for high dose dosimetry in industry, agriculture and medicine. Proceedings of a symposium held in Vienna, 2-5 November, 1998.* IAEA-TECDOC-1070.

- [3] Sharpe, P. H. G.; Rajendran, K.; Sephton, J. P. Progress Towards an Alanine/ESR Therapy Level Reference Dosimetry Service at NPL. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 47(11-12), pp. 1171-1175, 1996.
- [4] Mehta, Kishor; Girzikowsky, R. Alanine-ESR Dosimetry for Radiotherapy IAEA Experience. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 47(11-12), pp. 1189-1191, 1996.
- [5] Gall, K.; Desrosiers, M.; Bensen, D.; Serago, C. Alanine EPR Dosimeter Response in Proton Therapy Beams. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 47(11-12), pp. 1197-1199, 1996.
- [6] Deffner, U.; Regulla, D. F. Therapy-level dosimetry based on ESR spectroscopy of alanine free radicals. *Phys. Med. Biol.* v. 39, 799, 1994.
- [7] Ruckerbauer, F.; Sprunck, M.; Regulla, D. F. Numerical Signal Treatment of Optimized Alanine/ESR Dosimetry in the Therapy-level Dose Range. *Applied Radiation and Isotopes* v. 47(11-12), pp. 1263-1268, 1996.
- [8] Galante, O. L.; Padronização do Método de Dosimetria de Doses Altas pela Técnica de Ressonância Paramagnética Eletrônica. Dissertação de Mestrado, IPEN-USP, 2000.

ABSTRACT

This work describes the development of a reference dosimetric system based on alanina/EPR for radiotherapy dose levels. Currently the IPEN is concluding a similar system for the dose range used for irradiation of products, $10\text{-}10^5$ Gy. The objective of this work is to present the efforts towards to improve the measure accuracy for doses in the range between 1-10 Gy. This system could be used as reference by radiotherapy services, as much in the quality control of the equipment, as for routine accompaniment of more complex handling where the total doses can reach some grays. The system uses alanine as detector and electronic paramagnetic resonance - EPR as measure technique. To reach accuracy better than 5% mathematical studies on the best optimization of the EPR spectrometer parameters and methods for the handling of the EPR sign are discussed.