

SISTEMA PARA AVALIAÇÃO, EM TEMPO REAL, DA HOMOGENEIDADE DO FEIXE EXTERNO DO CÍCLOTRON CYCLONE 30 DO IPEN/CNEN-SP

Hylton Matsuda e Valdir Sciani

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242
05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil**RESUMO**

O Ciclotron Cyclone 30 do IPEN-CNEN/SP opera exclusivamente para a produção de radioisótopos utilizados na medicina nuclear em diagnósticos. Esta produção pode ser significativamente afetada pela homogeneidade do feixe durante as irradiações, ou seja, pela existência, no alvo, de regiões com correntes de feixe muito maiores que outras (pontos quentes). Para verificar a distribuição de potência depositada pelo feixe na superfície do alvo, foi desenvolvido e instalado, em uma das saídas da linha de feixe do ciclotron Cyclone 30, um porta-alvo especial, contendo termopares em pontos distintos da área irradiada. Os sinais provenientes dos termopares foram coletados por um módulo eletrônico local e então enviados, via comunicação serial RS-485, até o microcomputador localizado na sala de controle do Cyclone 30, de modo que a homogeneidade do feixe pôde ser observado durante a irradiação, em tempo real.

Keywords: ciclotron, beam homogeneity, targetry, radioisotopes

I. INTRODUÇÃO

No Centro de Aceleradores Ciclotrons (CAC) do IPEN-CNEN/SP está instalado o ciclotron Cyclone 30, fabricado pela Ion Beam Applications (IBA) – Bélgica. É um ciclotron do tipo isócrona, compacto e com campo e frequência fixas. Trata-se de um acelerador de íons negativos, específico para a produção de radioisótopos, capaz de gerar feixes de prótons com energias de até 30 MeV e com correntes de feixe de até 350 μA [1]. Atualmente, as produções de radioisótopos ^{123}I e ^{18}F a partir de ^{124}Xe e H_2^{18}O respectivamente, estão sendo realizadas com este ciclotron.

Nas irradiações com ciclotrons para a produção de radioisótopos são desejáveis correntes de feixe com intensidades máximas tecnicamente possíveis, sejam elas a máxima disponível no ciclotron ou a máxima suportada pelo alvo. Portanto, a produção de radioisótopos em ciclotrons pode ser significativamente afetada pela homogeneidade do feixe durante as irradiações dos alvos, pois a densidade de potência efetiva gerada pelo mesmo é muito alta. Como exemplo, as irradiações realizadas com o ciclotron CV-28 do IPEN, com prótons de 24 MeV de energia e corrente de feixe de 30 μA geram uma potência de 720 W. Considerando o maior colimador de feixe (limitador de área irradiada) utilizado, com abertura de 10 mm de diâmetro, é gerada uma densidade de potência maior que 900 W/cm^2 , que deve ser dissipada com uma refrigeração adequada no alvo. No Cyclone 30 este fato é muito mais crítico: irradiações com prótons de 30 MeV de energia e

300 μA de corrente depositam no alvo uma potência de 9000 W.

Em feixes não homogêneos, a densidade de corrente média não corresponde à medida em diferentes pontos do alvo, resultando em regiões com correntes muito maiores que outras (pontos quentes). Assim, tal fato pode levar à volatilização do alvo e, conseqüentemente, à perda de massa do material-alvo, geralmente constituído de um material enriquecido, que possui um custo elevado. Além disso, existe a possibilidade de comprometer a integridade da máquina e, até mesmo, a segurança das pessoas.

Dessa forma, este trabalho tem proporcionado uma análise do perfil de feixe do ciclotron Cyclone 30, com maior segurança, auxiliando o operador nas irradiações. No caso dos radioisótopos, tem possibilitado uma irradiação mais uniforme e, conseqüentemente, uma melhora significativa na qualidade do produto irradiado.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Uma técnica desenvolvida por Wieland [2], em que a homogeneidade do feixe é avaliada através de reações monitoras induzidas por prótons em cobre natural, já foi utilizada no ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP [3]. No caso, foi utilizada uma flange de alumínio (gabarito) que permitiu a ativação da folha de cobre apenas em sete pontos distintos. A medida das atividades desses pontos forneceu um “mapeamento” da intensidade do feixe na área

delimitada pelo colimador com abertura de 10 mm de diâmetro.

Nesta técnica, embora simples e confiável, a avaliação dos resultados pode ser problemática. Além de envolver uma pequena dose de radiação devido à ativação dos seus componentes na manipulação do dispositivo irradiado, requer a substituição do mesmo após cada ensaio, necessitando testes repetitivos e dificultando a avaliação dos resultados. Além disso, esta avaliação pode ser feita somente após a irradiação, ou seja, torna possível uma ação corretiva somente após a análise destes resultados. Adicionalmente, parte-se do pressuposto que, fixando-se os parâmetros operacionais do ciclotron conforme a irradiação teste, o perfil do feixe se manterá constante, o que nem sempre é verdadeiro.

Uma vez que a interação das partículas energéticas de um feixe num material-alvo gera calor, a distribuição da densidade de potência depositada pelo feixe na superfície do alvo, ou seja, a sua homogeneidade, pode ser obtida mapeando-se a distribuição de temperaturas na superfície desse alvo. Dessa forma, para medir diretamente as temperaturas em pontos definidos na superfície do alvo foi construído um dispositivo similar ao desenvolvido por DeVinney et al [4] que consiste de um alvo de alumínio com sete termopares, um localizado no centro e outros seis equidistantes entre si, formando um ângulo de 60° situados a uma distância, centro a centro, de 3 mm, conforme pode ser visto na Figura 1. Com o objetivo de limitar o feixe na área monitorada, foi colocado um colimador com abertura de 10 mm. Para evitar danos devido o superaquecimento provocado pela incidência direta do feixe, o dispositivo foi refrigerado com água a temperatura de $\sim 19^\circ\text{C}$.

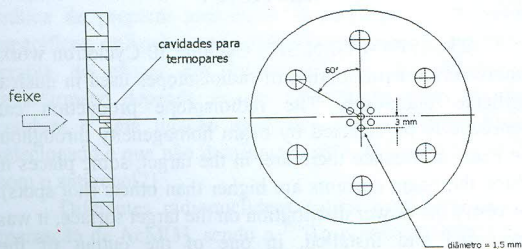


Figura 1. Alvo para avaliação da homogeneidade do feixe do ciclotron Cyclone 30.

Os termopares utilizados no sistema de homogeneidade de feixe são do tipo K, com diâmetro de 1,5 mm. Estes possuem uma junção isolada (isolação mineral) para proporcionar uma isolamento elétrica total entre os fios do termopar e a bainha metálica de medição, protegendo-os de qualquer tipo de interferência elétrica e do ambiente onde está sendo utilizado.

O termopar tipo K, cuja composição química é formada pelo níquel-cromo(+)/níquel-alumínio(-), é utilizado muito na indústria em geral, possui uma ampla

faixa de atuação (-200°C a 1200°C), excelente resistência a oxidação em altas temperaturas e a corrosão, podendo também ser utilizado em temperaturas negativas.

O sistema de avaliação da homogeneidade do feixe foi instalado na linha de feixe 1.2.1, referente à saída 1 do distribuidor magnético, destinado ao condicionamento do Cyclone 30 e treinamento de pessoal, e pode ser visto, de forma esquemática, na Figura 2.

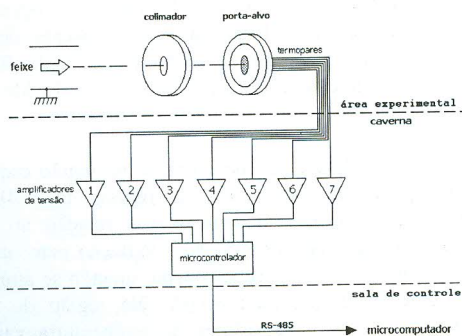


Figura 2. Sistema de avaliação da homogeneidade do feixe do ciclotron Cyclone 30.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas irradiações, as temperaturas foram monitoradas durante a fixação dos parâmetros de ajustes do feixe, possibilitando verificar a homogeneidade do feixe de forma rápida, segura, independente do número de testes e em tempo real.

No caso, foi utilizado um colimador com abertura de 10 mm para limitar a área irradiada, onde os termopares estão posicionados. Nos testes, foi fixada a energia em 15 MeV e variou-se a corrente de feixe ($15\ \mu\text{A}$ e $30\ \mu\text{A}$). O feixe otimizado consistiu no compromisso da razão entre as correntes de feixe no alvo e na saída do ciclotron (eficiência de transferência), o que implica na fixação de parâmetros para as bobinas de focalização e centralização e para a fonte de íons. Assim, com o feixe otimizado para melhor eficiência de transferência, de 66 %, e inicialmente, com uma corrente de feixe média de $15\ \mu\text{A}$, a homogeneidade do feixe variou no máximo de 11 % em relação ao ponto central, conforme pode ser visto na Figura 3a. Observou-se também que o feixe apresenta uma concentração maior na região esquerda-inferior. Da mesma forma, com a eficiência de transferência de 66 %, esta tendência acentuou-se quando aumentou-se a corrente de feixe para $30\ \mu\text{A}$. A homogeneidade do feixe variou de 19 % em relação ao ponto central, mantendo o mesmo perfil de feixe, conforme a Figura 3b. Este aumento na homogeneidade é considerado normal pois o aumento da corrente torna o feixe mais focalizado, fazendo com que atinja com maior intensidade o alvo.

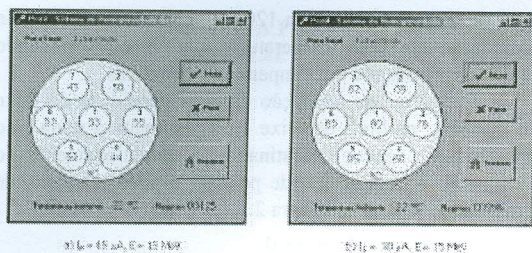


Figura 3. Telas do sistema de avaliação da homogeneidade do feixe. a) Irradiação com corrente de feixe 15 μA e energia de 15 MeV. b) Irradiação com corrente de feixe 30 μA e energia de 15 MeV.

Esta tendência de concentração na região esquerda-inferior pode ser visualizada nas figuras 4a e 4b, que ilustram as variações percentuais em relação ao ponto central. Na Figura 4c, observa-se a variação percentual de cada ponto com o seu correspondente quando se aumentou a corrente de 15 μA para 30 μA . Na região de maior incidência de feixe, os valores de temperatura variaram entre 151 % e 161 %. Nos demais, permaneceram em torno de 140 %.

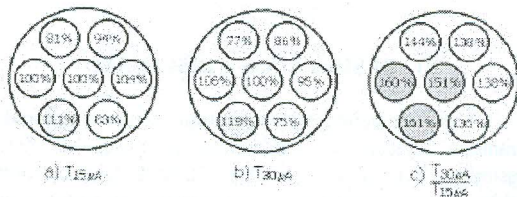


Figura 4. Variações percentuais das temperaturas em relação ao ponto central. a) Corrente de feixe igual a 15 μA . b) Corrente de feixe igual a 30 μA . c) Variação percentual de cada ponto correspondente (15 e 30 μA).

Notou-se que, variando-se os valores das bobinas de focalização e de centralização do feixe para uma melhor distribuição de temperatura, a eficiência de transferência diminui acentuadamente, o que comprometeu o valor da corrente efetiva no alvo. Isto é fundamental no rendimento de produção do radioisótopo, que é função da intensidade de corrente no alvo.

IV. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no sistema de avaliação do perfil de feixe, comprovou-se que as manifestações do feixe, observadas através do mapeamento de temperaturas na superfície do alvo irradiado, estão diretamente relacionados às variações reais no comportamento do feixe durante as irradiações. Sendo assim, este dispositivo é de grande valia para o treinamento de pessoal na operação de ciclotrons, pois pequenas mudanças de qualquer parâmetro operacional, ou seja, sua

influência no posicionamento do feixe em relação à área irradiada pode ser vista em tempo real. Desta maneira, o iniciante na operação do ciclotron pode realmente visualizar o que acontece com o feixe em relação à mudança de qualquer parâmetro operacional, permitindo um controle sobre as variáveis de irradiação, evitando assim, danos que possam comprometer a integridade da instalação e do produto final irradiado.

REFERÊNCIAS

- [1] ION BEAM APPLICATIONS. *Technical Description of the CYCLONE 30 Cyclotron System for IPEN-CNEN/SP*, 1995.
- [2] WIELAND, B. W. A negative ion cyclotron using 11 MeV protons for the production of radionuclides for clinical positron tomography. In: *The First Workshop on Targetry and Target Chemistry*, October 4-7, 1985, Heidelberg. *Proceedings...*, p. 119-125.
- [3] SCIANI, V.; SANTOS, L. L. M.; ARAUJO, S. G.; SUMIYA, L. C. A. Avaliação da homogeneidade do feixe externo do ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP. In: *IV ENAN*, August 18-22, 1997, Poços de Caldas, Brazil.
- [4] DEVINNEY, J.; LADECKI, M.; KABALKA, G. W.; ALVORD, C. W.; NELSON, J. Cyclotron target beam homogeneity measurement device. In: *Sixth Workshop on Targetry and Target Chemistry*, August 17-19, 1995, Vancouver, B.C. Canada.

ABSTRACT

The IPEN-CNEN/SP's Cyclone 30 Cyclotron works exclusively for production of radioisotopes used in nuclear medicine diagnoses. The radioisotope production can significantly be affected by beam homogeneity throughout the irradiation since there are, in the target, some places in which the beam currents are higher than others (hot spots). To verify the power distribution on the target surface, it was developed and installed, in one of the output of the Cyclone 30 cyclotron beam line, a special targetry containing thermocouples set in specified places of irradiated area. The signals from the thermocouples were collected by local electronic module, and they were sent by RS-485 serial communication to the microcomputer placed into the Cyclone 30 control room, as the way that the beam homogeneity could be monitored during the irradiation, in real time.