

**UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE ALVO INTERNO DO
CÍCLOTRON CV-28 DO IPEN-CNEN/SP.
VANTAGENS E DESVANTAGENS EM RELAÇÃO AO ALVO EXTERNO.**

Sumair Gouveia de Araujo e Valdir Sciani

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049
05508-900, São Paulo, Brasil

RESUMO

O ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP é utilizado principalmente na produção de radioisótopos para diagnósticos médicos. Portanto, toda uma infra-estrutura foi desenvolvida para a realização de irradiações com feixes externo e interno. Neste trabalho, são analisadas as vantagens e desvantagens da utilização do alvo interno, que foi modificado, instalado e testado em condições reais de produção. Alguns pontos são destacados nos dois casos, como, por exemplo, a intensidade de corrente disponível, fator importante na produção de radioisótopos, a estabilidade e a forma do feixe, o tempo de irradiação, estado físico do alvo e a mudança de partícula acelerada.

I. INTRODUÇÃO

A maioria dos aceleradores usados para produção de radioisótopos são ciclotrons isócronos, com teoria desenvolvida completamente nos anos 60. Tais máquinas foram construídas seguindo o mesmo projeto conceitual. No meio da década de 80, mais de 100 deste tipo foram instalados em universidades, com energia variável e capazes de acelerar mais de uma partícula (p, d, $^3\text{He}^{++}$, α), projetados para pesquisas em física nuclear, radioquímica e outras aplicações. Praticamente todas estas máquinas eram de prótons, que usavam uma pequena fonte interna de íons, que fornecia intensidade de criação de prótons bem acima do que qualquer alvo poderia suportar e acima da capacidade do sistema de extração [1].

Os produtores de radioisótopos usavam o mesmo tipo de ciclotron, com algumas simplificações, as quais foram feitas por companhias comerciais, como Thompson-CSF (depois CGR - MeV), Scanditronix, The Cyclotron Corporation e outras.

Assim, vários isótopos de interesse foram rapidamente se tornando isótopos comerciais e os ciclotrons foram instalados para sua produção. Muitos esforços foram feitos pelos produtores e fabricantes de ciclotrons para aumentar a corrente extraída, de maneira a se obter as intensidades que permitiriam grandes quantidades de radioisótopos comerciais. Em um ciclotron clássico, os prótons são extraídos por um defletor eletrostático aterrado, feito com uma chapa de cobre muito fina (0,3 mm a 0,7mm), e um eletrodo negativo paralelo localizado a uma distância de 3 mm para produzir um alto

campo eletrostático (150 kV/cm) necessário para extrair as últimas órbitas das partículas (normalmente de largura 1mm, separadas da órbita precedente por 1mm). Mesmo com o uso de técnicas de extração ressonantes as últimas órbitas do feixe não são separadas e a folha de cobre intercepta uma parte significativa do feixe, apesar de sua espessura reduzida. Nos melhores casos, somente 50 a 60% podem ser extraídos e 3kW de potência de feixe é um limite prático para a maioria dos ciclotrons comuns de prótons, 100 μA para 30 MeV ou 50 μA para 65 MeV [1].

Em relação à tecnologia de sistemas para irradiações de alvos em ciclotrons, destinados à produção de radioisótopos usados em medicina nuclear, podem ser citados dois grupos principais: sistemas para irradiação de alvos com feixes internos e com feixes externo [2,3].

Como o próprio nome sugere, as irradiações com feixes internos são feitas no tanque principal do ciclotron, nas últimas órbitas do feixe, antes que o mesmo seja extraído. Esta foi a solução encontrada por diversos produtores de radioisótopos, que desenvolveram seus próprios sistemas de alvo interno, para evitar a perda de corrente no sistema de deflexão: quase a totalidade do feixe produzido era aproveitada para irradiar os alvos [4,5,6]. Isto permitiu a utilização de 150 μA a 200 μA em alvos fixos e mais que 500 μA em alvos rotativos. Devido a dificuldades práticas relacionadas com a instalação de sistemas de irradiações no interior do ciclotron, não são irradiados com feixe interno alvos líquidos e gasosos. A Figura 1 mostra o alvo interno dentro da câmara de aceleração e seu posicionamento em relação aos Dês.

Nas irradiações utilizando feixes externos existe mais versatilidade na forma do feixe extraído do que o feixe interno. Neste caso, torna-se possível o uso de sistemas de desfocalização e varredura para o feixe, com a finalidade de diminuir a densidade de potência (kW/cm^2) efetiva no alvo, isto é, tornar o feixe homogêneo. Com o feixe externo, podem ser irradiados materiais nos três estados físicos: sólidos, líquidos e gasosos. A Figura 2 mostra o local onde são irradiados os alvos com feixe externo. A distância entre o alvo e a câmara de aceleração é de aproximadamente 20 m.

Os ciclotrons de tamanho médio ($E \leq 40$ MeV) são particularmente importantes, pois muitos radioisótopos comumente empregados em medicina nuclear, como ^{67}Ga , ^{111}In , ^{123}I , ^{18}F e ^{201}Tl , são produzidos em aceleradores deste tipo. Neste grupo está inserido o Ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP, que se destina prioritariamente à produção destes radioisótopos devido às suas características, tendo como limitação a produção de ^{201}Tl , devido a sua energia máxima de prótons ($E=24$ MeV). Desta maneira, como o sistema de alvo interno, que apresentava falhas de projeto que inviabilizava sua utilização, foi modificado, otimizado, instalado e testado em condições de produção, o presente trabalho tem como objetivo comparar as vantagens e desvantagens deste sistema em relação ao feixe externo.

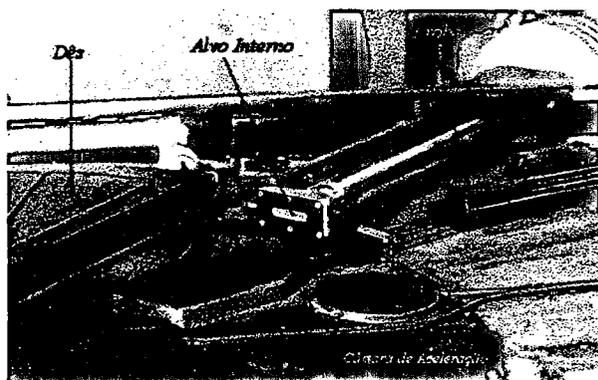


Figura 1. Alvo Interno na Posição de Irradiação.

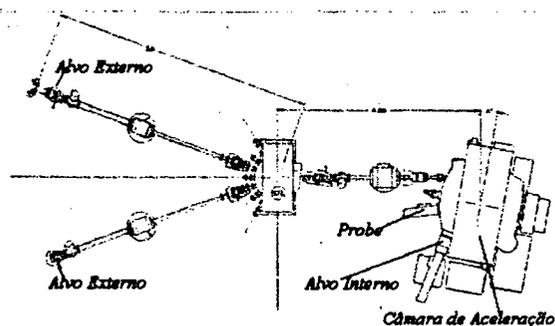


Figura 2. Vista Esquemática do Ciclotron e do Sistema de Transporte de Feixe.

II. CARACTERÍSTICAS DO CV-28

O ciclotron CV-28 do IPEN possui como características de projeto uma intensidade de feixe interno de $200 \mu\text{A}$ e externo de $60 \mu\text{A}$, para prótons com energia de 24 MeV [7]. Entretanto, pode-se fornecer normalmente um feixe externo com uma corrente máxima de 35-40 μA . Esta limitação é devida principalmente à tecnologia no sistema de extração (defletor) dos aceleradores de íons positivos, que acaba absorvendo a maior parte do feixe não extraído. Com uma eficiência típica de 60%, para um feixe interno de $100 \mu\text{A}$, 40 μA são perdidos no interior do tanque do ciclotron, causando, além desta perda, a ativação dos componentes internos, principalmente no sistema de deflexão. No ciclotron do IPEN, duas linhas de feixe externo estão disponíveis: a central, sem deflexão, e a de deflexão máxima de 60° . Em cada uma destas linhas está instalado um sistema de bobinas quadrupolares, para focalização e um sistema de varredura, que permite a uniformidade do feixe. Na prática, em regime contínuo, o feixe externo já trabalhado, depois do transporte, desfocalização e colimação, se reduzia a 30 μA no alvo propriamente dito. Em geral, estas intensidades de corrente são baixas para uma produção eficiente dos radioisótopos mais comuns em ciclotrons (^{67}Ga , ^{111}In), já que a demanda do mercado é muito grande, não conseguindo com esta corrente de feixe produzir tais radioisótopos para atender à classe médica, uma vez que a corrente e o tempo já estão no seu limite máximo, o primeiro devido ao sistema de extração e o segundo devido à meia vida do radioisótopo formado.

Aqui também, com o intuito de, pelo menos, dobrar a corrente efetiva no alvo, foi modificado, otimizado, instalado e testado o sistema de alvo interno [8]. Isto diminuiria significativamente os tempos de irradiação e, conseqüentemente, o desgaste da máquina. A intensidade de corrente de feixe disponível não seria mais uma limitação.

Além disto, como a irradiação gera uma intensa radiação espalhada no alvo, a irradiação com feixe interno conta com a blindagem adicional da própria estrutura do ciclotron e, no caso do IPEN, da blindagem da caverna, que é superior a das salas experimentais, onde são irradiados os alvos com feixe externo.

III. IRRADIAÇÕES

Para comparação das irradiações efetuadas com feixes interno e externo, foi conveniente o uso de um alvo que pudesse ser empregado nos dois casos. Para tal, foram utilizados alvos de zinco natural e as irradiações foram feitas com prótons de 24 MeV de energia.

As placas suporte (cobre, cobertas de níquel) possuíam as dimensões de $72 \times 27 \times 1,5$ mm e $104 \times 43 \times 3$ mm para os alvos externo e interno, respectivamente. Na chapa utilizada no caso do interno, foram feitos canais de 1,7 mm de profundidade, para melhorar a capacidade de

refrigeração, gerando turbulência da água e garantindo a resistência mecânica do material suporte. O zinco foi eletrodepositado (~500mg) em áreas de 5,2 e 10,4 cm², o que levava a espessuras de 95-100 mg/cm² e 45-50mg/cm² para os alvos externo e interno respectivamente. Durante as irradiações, foi acompanhada a temperatura da água na saída da refrigeração do porta-alvo em função da corrente do feixe, utilizando-se um termopar de NiCr-Ni.

Após a irradiação, foi verificada a eventual perda do material alvo e medido o rendimento obtido, dissolvendo-se em 30 mL de ácido clorídrico concentrado e diluindo-se em 250 mL de água destilada. Alíquotas desta solução foram retiradas e medidas em um detector Ge(HP). As irradiações foram feitas com correntes de feixe de até 30 μA , com ângulo de incidência de 10°, e até 80 μA com ângulo de incidência de 1,45°, nos feixes externo e interno do ciclotron CV-28 do IPEN.

No caso do feixe interno, para os primeiros ajustes no perfil de feixe, as irradiações eram efetuadas com baixas correntes de feixe, no máximo 1 μA , e visualizadas pela volatilização da tinta ou pelo corte de uma lâmina de alumínio presa na parte frontal do alvo. Estas formas de visualização do local de incidência do feixe, na placa de cobre "marcada", foram usadas como referência para os ajustes posteriores no perfil de feixe, através das bobinas de correção dos campos magnéticos principal e harmônicos. O feixe ideal otimizado era um compromisso entre sua posição de marcação na chapa de cobre e a intensidade da corrente incidente, onde abrangesse a maior área do material que seria eletrodepositado como alvo. Uma vez o feixe otimizado com correntes de feixe baixas, placas de cobre niqueladas foram utilizadas para ajustes de perfil, com valores cada vez maiores de corrente, sendo a marcação na chapa notada pela escurecimento do níquel no local de incidência do feixe.

O feixe externo, após transporte com centralização, desfocalização e varredura, era otimizado usando-se um colimador constituído de quatro setores independentes e um *beam-stopper* de acionamento pneumático. Depois do *beam-stopper*, o feixe passava por um segundo colimador, de 10 mm de diâmetro, definindo assim a geometria a ser utilizado. Devido a esta versatilidade, tornou-se possível a irradiação de TeO₂ com prótons de 24 MeV e correntes de 10-12 μA , com refrigeração 4 π (em ambos os lados do alvo) e de água natural em porta-alvo de volume grande (~60 mL), que mantinha a água circulante durante a irradiação com correntes de até 30 μA . Filmes fotográficos serviam como indicação do perfil do feixe extraído.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para refrigeração do alvo foi utilizada água desmineralizada do circuito primário, que refrigera o ciclotron, a qual se mantém em torno de 13 °C. A Figura 3 mostra a temperatura da água de refrigeração na saída do porta-alvo interno em função da corrente de feixe. A corrente de feixe foi aumentada de 5 em 5 μA . Nota-se

que, para um aumento de 5 μA existe um aumento de 1 °C na temperatura da água na saída.

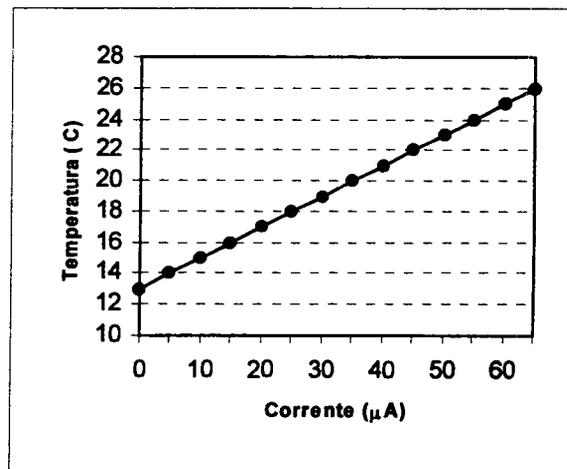


Figura 3. Temperatura da Água de Saída da Refrigeração do Alvo Interno(°C) em Função da Corrente de Feixe (μA).

Quando se manteve a corrente de feixe em um determinado valor, após grandes variações, por exemplo de 60 para 40 μA , rapidamente a temperatura se fixava no valor correspondente, sendo reprodutivo, tanto no aumento como no decréscimo do feixe. Durante a irradiação com uma corrente fixa, a temperatura se manteve constante.

No caso do feixe externo, o aumento da temperatura foi de 3 a 4 °C para corrente de 30 μA , mantendo-se então constantes durante a irradiação.

A Tabela 1 mostra três irradiações efetuadas com o sistema de alvo interno em zinco natural.

TABELA 1. Irradiações feitas em Alvos de Zinco Natural com Correntes mantidas Constantes, como em Produções Rotineiras.

Tempo (min)	Corrente média (μA)	Dose ($\mu\text{A.h}$)
75	72,0	90
120	61,5	123
230	67,7	262

Nestas três irradiações, a perda de massa foi desprezível, mostrando que a refrigeração do alvo foi eficiente. Correntes maiores não foram testadas, pois o limite prático que pode ser aplicado ao alvo interno depende da otimização da espessura do alvo e da eletrodeposição do material alvo.

Na Figura 4 pode ser vista a carga acumulada em função do tempo desta irradiação, medida em intervalos de 30 min. (para irradiação de 230 min com corrente média

de 67,7 μA). Nota-se que a dose aumenta linearmente com o tempo, demonstrando que a corrente não sofreu oscilações durante a irradiação.

Isto mostra que a utilização do sistema de alvo interno, o qual possibilita irradiações com correntes de feixe maiores, possui uma estabilidade muito boa, ao contrário do alvo externo, que depende da estabilidade do defletor. Além disto, o rendimento obtido de ^{67}Ga , no final da irradiação foi de 21,2 MBq/ μAh (0,57 mCi/ μAh), valor compatível com o obtido no ciclotron CV-28, utilizando-se irradiações em feixe externo e correntes de 10 μA por uma hora, de 23 MBq/ μAh (0,62 mCi/ μAh) [9].

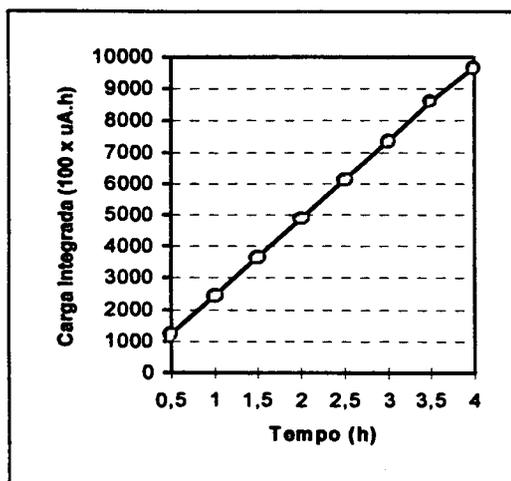


Figura 4. Carga Acumulada durante a Irradiação.

Em produções rotineiras de ^{67}Ga a partir de irradiação de alvos enriquecidos de ^{68}Zn com feixe externo, a corrente utilizada se situava na faixa entre 25 e 30 μA para uma demanda em torno de 12.950 MBq (350 mCi). Isto significava aproximadamente 21 horas de irradiação, distribuídas em dois dias. Este tempo era dependente das oscilações do defletor, onde a corrente média obtida era aproximadamente 10% menor que as nominais, nos melhores casos. Além deste fator, a irradiação em dois dias significa uma perda em termos de decaimento radioativo do radioisótopo produzido durante o período de desligamento do ciclotron. Desta maneira, somando todos estes fatores, a estabilidade do alvo interno, a corrente que pode ser conseguida (uma vez que se aproveita quase a totalidade do feixe produzido) e a própria irradiação que pode ser feita em apenas um dia, a utilização do alvo interno proporciona uma economia em tempo com um fator de 2,5 em relação ao alvo externo. Isto é significativo em termos de irradiações que envolvem alvos eletrodepositados, como, por exemplo, para a produção de ^{67}Ga e ^{111}In , sem contar o desgaste em face ao tempo de utilização do acelerador.

No caso de alvos sólidos eletrodepositados, em ciclotrons de íons positivos, como o do IPEN-CNEN/SP, devido ao problema do sistema de deflexão, o alvo interno

é a saída mais razoável para a utilização de altas correntes de feixe.

A principal desvantagem da utilização do sistema de alvo interno, nestes casos, é que não é possível a desfocalização vertical do feixe.

Por outro lado, no feixe externo existe maior versatilidade na forma do feixe extraído, sendo possível o uso de sistemas de desfocalização e varredura, tornando o feixe homogêneo. A possibilidade de uso de um diafragma de quatro setores independentes e de um *beam-stopper* de acionamento pneumático permitiu somente incidir o feixe no alvo a ser irradiado depois de otimizado. O sistema de varredura mostrou-se de extrema importância para a homogeneidade do feixe, característica fundamental quando se deseja irradiar materiais com baixo ponto de fusão ou com baixa condutividade térmica. Dois exemplos são típicos: as produções de ^{18}F e ^{123}I . No primeiro caso, utiliza-se água como material alvo para a produção de ^{18}F . Como o ponto de ebulição da água é de 100 °C, a homogeneidade do feixe é essencial. Com a utilização do sistema de varredura, correntes de até 30 μA foram usadas na irradiação de água natural em porta-alvo de grande volume (60 mL). Neste porta-alvo, a água irradiada circulava em um circuito fechado e passava por um trocador de calor, além da refrigeração com água do ciclotron [10]. Um segundo porta-alvo, estático e de pequeno volume (300 μL), adquirido da Ion Beam Applications-Bélgica, foi instalado e testes iniciais de irradiações foram feitos com água natural e corrente de 10 μA .

No segundo caso, a produção de ^{123}I a partir de irradiações de $^{124}\text{TeO}_2$ é outro exemplo típico e é irradiado semanalmente em doses de 25-35 μAh . Aqui, o alvo é um óxido, portanto um mau condutor de calor, exigindo refrigeração 4π , isto é, em ambos os lados do alvo, necessitando de uma janela frontal. Sem a utilização do sistema de varredura, a corrente de feixe não podia exceder 5 μA . Com sua utilização, correntes de 10 a 12 μA são utilizadas em produções rotineiras, sem perda significativa de material alvo.

Estes dois exemplos mostram a grande vantagem da irradiação com feixe externo: versatilidade na forma do feixe, que o torna mais homogêneo, e a disponibilidade de espaço nas áreas experimentais, que possibilitam a utilização de aparatos experimentais que permitem a irradiação de alvos nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. No caso do alvo interno somente alvos sólidos, com refrigeração 2π , isto é, na parte de trás da placa suporte podem ser irradiados, não permitindo, por motivos de espaço no tanque do ciclotron, a introdução de porta-alvos especiais para a irradiação de outros tipos de alvos.

Porém, um outro ponto deve ser enfatizado: como o modelo CV-28 pode acelerar quatro tipos de partículas diferentes, e a mudança de partícula significa mudança em todos os parâmetros do defletor, dificuldade principalmente importante para a extração de correntes altas, o alvo interno torna-se conveniente para irradiação de alvos sólidos, que podem ser aplicados tanto na obtenção de

radioisótopos para uso na medicina nuclear quanto na fabricação de fontes de calibração, como por exemplo ^{111}In obtido a partir de irradiação de prata com partículas alfa.

Uma outra alternativa seria a utilização de um ciclotron que acelera íons negativos, H^- , com funcionamento similar ao de uma máquina clássica padrão de íons positivos (magneto principal, R.F, etc), diferenciando-se apenas no sistema de extração, que permite obter uma eficiência próxima de 100%, por meio de uma folha de carbono fina. Neste caso, pode-se obter correntes de feixe externo acima de 200 μA , inclusive com a possibilidade de extração de 2 feixes simultaneamente.

Porém, nestas máquinas há necessidade de se trabalhar com um vácuo bem maior, pois o fluxo de gás hidrogênio para operar uma fonte H^- é de 3 a 5 vezes maior que o fluxo de uma fonte de prótons. O gás produzido no centro do ciclotron é muito difícil de ser bombeado. Como resultado, tem-se uma alta produção de feixe neutro, H^0 , através da colisão do H^- com o gás residual, pela perda de um elétron. Este feixe neutro se choca com a parede da câmara de aceleração, gerando danos de radiação significativos no acelerador. Tal fato é tão ruim quanto à utilização do alvo interno em um ciclotron de íons positivos, devido à produção de nêutrons durante a irradiação [1].

V. CONCLUSÕES

O ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP, utilizado principalmente na produção de radioisótopos para diagnósticos médicos, conta com uma infra-estrutura que permite a realização de irradiações com feixes externo e interno, cada um apresentando vantagens e desvantagens. O primeiro ponto destacado é a intensidade de corrente de feixe disponível nos dois casos, fator importante na produção de radioisótopos. Como o CV-28 é um acelerador de íons positivos, existe uma limitação para o feixe externo devida, principalmente, ao sistema de extração (defletor), que acaba absorvendo quase a metade do feixe produzido. Na prática, no ciclotron do IPEN, em regime contínuo, a corrente de feixe externo efetiva nos alvos, depois do transporte, varredura e colimação, não excede 30 μA . Estas correntes são baixas para uma produção eficiente dos radioisótopos mais comuns em ciclotrons (^{67}Ga , ^{111}In), não podendo ser produzida quantidade suficiente para atender a classe médica, necessitando-se de tempos de irradiação longos, o que em certos casos é impraticável, devido à meia-vida do radioisótopo. Desta maneira, a utilização do alvo interno tem como vantagem o aproveitamento de praticamente toda a corrente produzida. Em simulações de produção (irradiações com correntes de prótons de 70 μA durante 4 horas em alvos de zinco natural eletrodepositado) os rendimentos de obtenção de ^{67}Ga foram comparáveis aos obtidos com feixe externo, sem perda de material alvo. Além disto, com o alvo interno o feixe possui uma estabilidade muito boa, sendo o externo bastante dependente das oscilações do defletor, onde as

correntes médias são aproximadamente 10% menores que as nominais, nos melhores casos. Isto significa que a utilização do alvo interno proporciona uma economia em tempo com um fator 2,5 em relação ao externo. A principal desvantagem é que no feixe externo existe maior versatilidade na forma do feixe extraído, sendo possível o uso de sistemas de desfocalização e varredura, tornando o feixe mais homogêneo. Também, podem ser irradiados materiais nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. Como exemplos, pode-se citar a irradiação de TeO_2 e H_2O visando a produção de ^{123}I e ^{18}F , respectivamente, que são feitos no IPEN em linha de feixe externo. No caso do feixe interno, isto é tecnicamente inviável, devido à limitação de espaço no tanque principal do ciclotron para a instalação de dispositivos especiais. Por outro lado, como o modelo CV-28 pode acelerar quatro tipos de partículas diferentes, o sistema de alvo interno torna-se conveniente na irradiação de alvos sólidos, pois a mudança da partícula acelerada significa mudanças em todos os parâmetros do defletor.

Embora a utilização de aceleradores de íons negativos seja uma tendência atual na produção comercial de radioisótopos, o sistema de alvo interno torna-se uma solução conveniente para irradiações com altas correntes de feixe no ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP, além de ser um ciclotron que pode acelerar outras partículas além de prótons.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PIRART, C.; **Technologies relevant to commercial radioisotopes production** In, INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON - ENERGETIC APPLICATIONS OF NUCLEAR SCIENCE- BRUSSELS, June 1-3, 1995, *Proceedings...*Brussels: BNS, 1995.
- [2] QAIM, S. M. **Production of Radioisotopes Using Accelerators**. In, THE 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED NUCLEAR ENERGY RESEARCH - EVOLUTION BY ACCELERATORS, January 24-26, 1990 Mito. *Proceedings...* Tokyo: Japan Atomic Energy Institute., p. 98-107, (INIS-MF-12714), 1990.
- [3] QAIM, S.M. **Target development for medical radioisotope production at a cyclotron**, *Nucl. Inst. Meth in Phys. Res.*, v. 41, n.10 -11, p.289-295, 1989.
- [4] STELLMACHER, W. ; KOGLER, W. ; CREMER, H. ; BOLTEN, W. ; BLESSING, G. **An automatic target system for high current irradiations in the internal beam of a compact cyclotron**. *Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals*, vol. XIX, n. 11-12, p.1355-1357, 1982.
- [5] LAMBRECHT, R.M.; SAJJAD, M.; SYED, R. H.; MEYER, W. **Target preparation and recovery of**

enriched isotopes for medical radionuclide production. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. A282, p.296-300,1989.

[6] PIRART, G., BOL, J.L., LANNOYE, G., RENWART, D. Development of a high intensity internal target at the IRE cyclotron. Revue IRE Tijdschrift, vol. 12, n.3, p.2-6, 1988.

[7] THE CYCLOTRON CORPORATION. Instruction and Service Manual for the Cyclotron Corporation's - Model CV-28 Cyclotron - Ser. N0. 604. US Pat. (TCC Ins-26), nov. 12, 1976.

[8] ARAUJO, S. G., Otimização do Sistema de Alvo Interno do Ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas e Nucleares, São Paulo, 1996.

[9] SANTOS, E. E.; Estudos da Separação de Ga e Zn, por meio de Resinas Trocadoras e de Adsorção de Íons. Obtenção de ^{67}Ga para Uso em Medicina Nuclear. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas e Nucleares, São Paulo, 1995.

[10] SANTOS, L. L. M. ; Desenvolvimento de Sistema de Irradiação de Água Natural para a Produção de ^{18}F no Ciclotron do IPEN. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas e Nucleares, São Paulo, 1994.

ABSTRACT

The CV-28 Cyclotron at IPEN-CNEN/SP is used mainly for radioisotope production to be utilized in nuclear medicine for diagnostic purposes. For this, target facilities were developed which allow irradiations with external and internal beam. In this work the advantages and disadvantages in the utilization of the internal beam target which was modified, installed and tested in production conditions were analysed. Many points are emphasized in both cases such as the available beam current intensity, that is an important factor in the radioisotope production, the stability and shape of the beam, the irradiation time, the physical state of the target and the changes of the accelerated particles.