

# ESTUDOS CONCEITUAIS DE UM REATOR PARA PESQUISAS E APLICAÇÕES MÉDICAS (REPAN).

J.R. MAIORINO; J.A. FERROTTA; B. D. BAPTISTA; A.J. SOARES; N.N. SILVA\*  
 IPEN-CNEN/SP  
 COFESP

## RESUMO

Este trabalho apresenta estudos conceituais de um reator de 1 MW para Aplicações médicas, com ênfase na técnica de terapia de tumores cerebrais através da infusão de B-10 nas células do tumor e posterior irradiação com um feixe de neutrons (BNCT-Boron Neutron Capture Therapy). No trabalho são discutidos aspectos relativos ao projeto nuclear, aos portos de irradiação e sistemas em geral. Finalmente é sugerido um lay-out preliminar e são discutidos aspectos relativos aos recursos financeiros para o empreendimento.

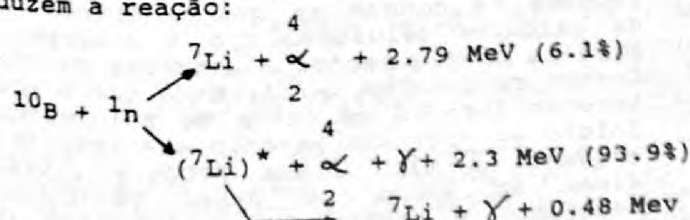
## INTRODUÇÃO

Reatores de pesquisa operam em praticamente todos os países do mundo e tem sido uma força motriz no desenvolvimento científico e tecnológico devido ao grande espectro de aplicações que propiciam. O Brasil opera 4 reatores de pesquisa, o IEA-R-1; o IPR-R-1; o IEN-R-1 e o IPEN-MB-01, e tem em seus planos um reator produtor de radioisótopos (RPR) e um reator para testes de materiais (RETEMA). Contrastando com o Brasil, somente na América do Norte existem 249 reatores de pesquisa (1), e portanto em vista do necessário desenvolvimento científico e tecnológico, e do retorno social que instalações desse tipo trazem, um país com dimensões continentais como o Brasil, ainda necessita de vários outros reatores nucleares destinados à pesquisa das aplicações pacíficas da Energia Nuclear.

Dentro deste contexto apresenta-se um estudo conceitual de um reator de 1 MW que potencialmente poderia ser construído numa universidade ou hospital para pesquisas e principalmente para aplicações médicas com ênfase na técnica de terapia de tumores cerebrais denominada BNCT-Boron Neutron Capture Therapy (2).

## TERAPIA DE TUMORES POR CAPTURA NO BORO (BNCT)

A técnica de terapia de tumores cerebrais por captura de neutrons no boro consiste na injeção de um composto de boro ( $\text{Na}_2 \text{B}_{12} \text{H}_{11} \text{SH}$  - MERCAPTOUNDECAHY-DRODECABORATO) o qual concentra-se preferencialmente na região tumoral (30 g de  $^{10}\text{B}$  por gr do tecido do tumor contra 10 g no tecido normal) (3), e posterior irradiação com neutrons originados de um reator nuclear. Os neutrons termicos ao interagirem com o  $^{10}\text{B}$ , induzem a reação:



Os produtos da reação ( $\text{Li}, \alpha$ ) devido ao seu curto alcance ( $10 \mu\text{m} = \text{eq. ao diâmetro de uma célula}$ ) depositam praticamente toda sua energia localmente e desta forma destroem seletivamente as células cancerosas. Em vista da concentração seletiva as células tumorosas ( $\sim 3:1$ ), cerca de 75% da dose total resulta da reação  $^{10}\text{B} (\text{n}, \alpha) ^7\text{Li}$ , e comparado com técnicas alternativas, tais como a radioterapia com Co-60, fornece doses cerca de 10% dessas (a radioterapia com Co-60 fornece doses acumuladas até 5000 rads) (2).

Históricamente já em 1936, um ano após a descoberta do neutron, o principio básico da técnica já era descrito nos EUA por Locher. As primeiras tentativas clinicas de terapia foram realizadas no inicio da década de 60 nos reatores do Brookhaven National Laboratory e do MIT, sem sucesso em vista do desconhecimento de um composto de boro conveniente. No Japão, país que a técnica tem sido aplicada com sucesso, os primeiros experimentos pré-clinicos, e primeiros tratamentos de pacientes foram realizados no HTR (Hitachi Training Reactor), o qual teve um porto de irradiação adaptado para a aplicação de terapia. Em 1974, o HTR foi fechado, e a aplicação da técnica passou a ser realizado num reator TRIGA-MARK II do Musashi Institute of Technology de 100 KW, o qual foi adaptado especialmente para aplicações médicas, tendo sido realizados gastos da ordem de US\$200.000,00 para estas reformas. Na figura 1, ilustra-se o porto de irradiação deste reator, sendo que o fluxo de neutrons termicos que atingem a cabeça do paciente é da ordem de  $10^9 \text{ n/cm}^2\text{-seg.}$  (4)

Desde o inicio de sua operação (1977), até março de 1985 já haviam sido tratados 62 pacientes, vários deles com um aumento na expectativa de vida de mais de 10 anos. (4)

As pesquisas tem continuado, sempre procurando otimizar o fluxo de neutrons, diminuir as doses recebidas pelos pacientes, a bioquímica do boro, etc. Atualmente os japoneses tem interesse na construção de um reator específico para esta aplicação (com 2 portos de irradiação, um termico e outro epitermico), o MIT já reinicia a utilização do reator para estas aplicações (5), além de outras propostas para um reator específico para esta aplicação terem sido publicadas em relatórios de laboratórios americanos (6). Portanto, o estudo conceitual, aqui

apresentado enquadra-se dentro dos esforços mundiais de consolidar a técnica de terapia de tumores cerebrais utilizando reatores de pesquisa, além de abrir a discussão do tema para a comunidade brasileira.

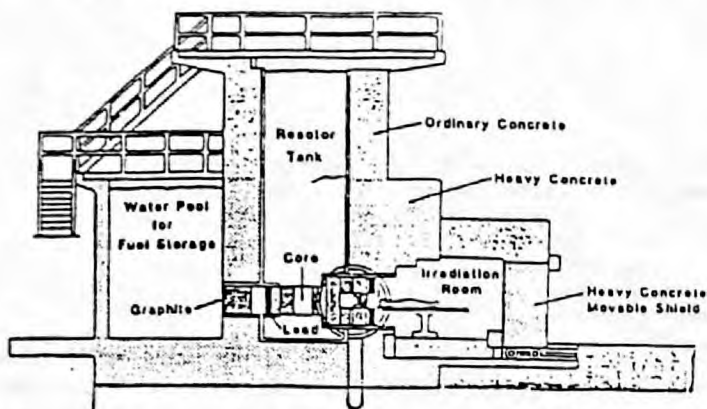


Figura 1 - Sala de Irradiação do Reator TRIGA-MARK II do Musachi Institute Technology

atingam tumores com profundidade da ordem de 7 cm da superfície do cérebro<sup>(7)</sup>; c) um fluxo de neutrons com boa penetração no tecido, sendo objetivo uma fluência de  $3 \times 10^{12}$  nvt a uma profundidade de 2,4 cm no cérebro (ou tecido equivalente)<sup>(8)</sup>; d) que o tempo necessário para atingir o objetivo (c) seja no máximo 3 horas; e) que a taxa de exposição de radiação gama na superfície do cérebro seja no máximo 30 R/hr<sup>(8)</sup>; f) a mínima contaminação de neutrons rápidos entre a componente térmica e a componente rápida seja maior que 10 e que a dose total devido a neutrons rápidos não ultrapasse 1000 rem na superfície do cérebro<sup>(8)</sup>; g) que o porto de irradiação possua uma blindagem móvel, de maneira que ao término da irradiação se feche o porto e permita acesso controlado à sala de irradiação (< 100 mrem/hr).

A seguir serão apresentados alguns estudos preliminares que conceituam o reator proposto.

### PROJETO NEUTRÔNICO

Como pré-concepção foram analisados três possibilidades, i) um núcleo tipo TRIGA (combustível de U-ZrH), ii) um núcleo de varetas de  $UO_2$  com baixo enriquecimento, e um núcleo com combustível tipo placa de  $U_3O_8$ -Al ambos com o conceito de núcleos acoplados através de  $D_2O$ .

O conceito de núcleo acoplado através de duas metades por um moderador é extremamente atrativo pelos motivos:

i) Como cada metade do núcleo é subcrítica, e o núcleo como um todo somente é crítico com a presença do moderador entre eles, o reator possuirá três sistemas de desligamento independentes e também dois com princípios de projeto totalmente diversos, pois se em uma metade do núcleo for inserido barras de controle/segurança, o reator como um todo desligará, e também se for retirado o moderador o acoplamento terminará e o reator desligará.

ii) Na região do acoplador existirá uma armadilha de neutrons ("flux-trap") que aumentará os níveis de fluxo térmico nessa região, de forma a torná-la conveniente para a irradiação de amostras.

iii) Com a escolha de  $D_2O$ , a fuga de neutrons nas laterais do acoplador favorecerá a componente térmica-epitérmica em detrimento da componente rápida que é um critério de projeto para aplicação médica. Além disso, existindo um controle de temperatura no  $D_2O$ , poder-se-ia variar o espectro de fuga, o que é conveniente para a aplicação.

Eliminando-se a opção do núcleo tipo TRIGA, os cálculos do núcleo acoplado foram realizados com o programa CITATION com secções de choque em quatro grupos, obtidas de cálculos celulares com o programa HAMMER para as configurações ilustradas na figura 2. Desses resultados verifica-se que o núcleo de varetas fornece um fator de multiplicação no início de vida sem xerônio e a frio de 1.052, enquanto o tipo placa fornece 1.061, além disso em ambos os casos retirando-se o moderador o reator fica subcrítico ( $K_{eff} = 0.854$  para o núcleo tipo placa). O reator placa fornece níveis de fluxo mais favoráveis para a aplicação proposta, e em vista da capacidade nacional (IPEN-CNEN-SP) de fabricação de combustível tipo placa, decidiu-se pela opção deste conceito.

### CONCEITO DO REATOR - CRITÉRIOS GERAIS

"A priori" poder-se-ia sugerir a adaptação de um dos reatores de pesquisa brasileiros para a aplicação do BNCT. Entretanto, em vista destes reatores, ou não terem uma característica adequada, ou por estarem sendo utilizados para outros propósitos (ex: Produção de Radioisótopos), neste trabalho é sugerido para a aplicação em questão, um novo reator com um projeto que favoreça a técnica BNCT, e que também contemple outras aplicações sem que estas interfiram na aplicação principal.

Desde que o reator proposto é adequado para instalação numa universidade, o seu projeto deve possuir critérios de segurança extremamente rígidos, e níveis de potência que não permitam em nenhuma hipótese "acidentes severos" (ex: fusão do núcleo). Desta forma, é sugerido um nível de potência de 1 MW, e um reator moderado e refrigerado a água leve (tipo tanque). Para o desenvolvimento do projeto os critérios básicos do SS-35 da Agência Internacional de Energia Atômica deverão ser rigidamente obedecidos, e sugere-se como guia de projeto o BNL-50.831 - Design Guide for Category III. Pool type Reactor.

Além dos critérios de segurança, o reator deverá ser projetado para atender os objetivos para o qual se destina: pesquisa e aplicações médicas. Dentre vários critérios, o principal seria sobre as condições de níveis de radiação nos portos de irradiação. Desta maneira, os portos de irradiação médica deverão ser projetados de maneira a atender os seguintes requisitos: a) possam ser facilmente alterados e movimentados quando necessário; b) possua dois portos; um favorecendo uma distribuição de energia com uma maior componente térmica (para tratamento de tumores superficiais), e outro favorecendo a componente epitérmica, sendo o espectro considerado mais favorável aquele compreendido entre 10 eV e 500 eV, e que

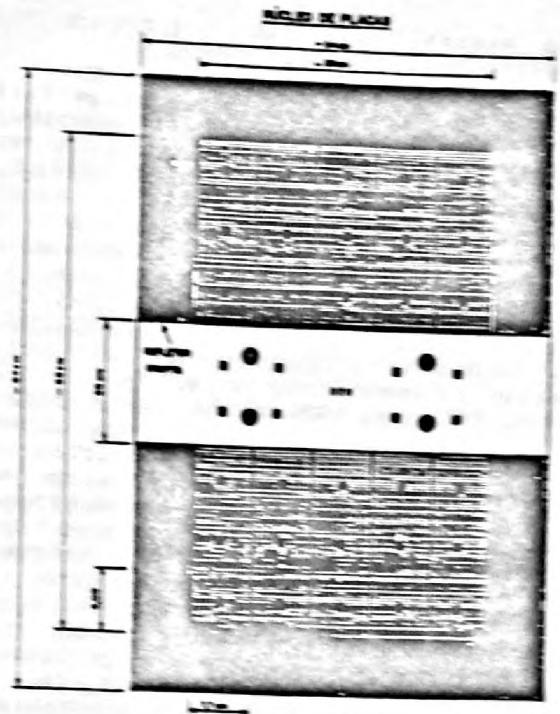
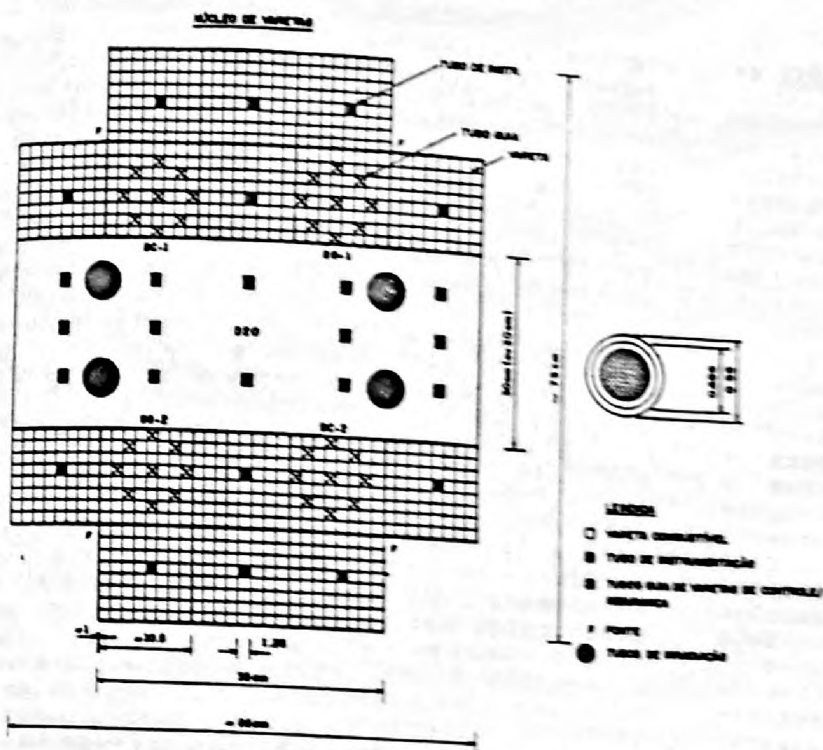


Figura 2 - Configuração de núcleo para o REPAM

Portanto o núcleo escolhido para o REPAM, será constituído de 30 elementos, sendo 4 de controle/segurança, separados (20 cm) por um tanque de  $D_2O$ . O refrigerante seria água leve que atuaria como moderador. Na figura 3, ilustram-se as distribuições de fluxos no tanque de  $D_2O$  ( $x=0$  e  $y=0$ ) para o núcleo tipo placa calculadas com o programa CITATION.

### TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Para a análise de transferência de calor no núcleo tipo placas utilizou-se o código COBRA-RERTR, e como limite para a temperatura de entrada no núcleo foi considerado o valor de  $40^{\circ}C$ , e os seguintes valores foram assumidos:

- . Potência Nominal - 1 MW
- . Temperatura Entrada -  $40^{\circ}C$
- . Temperatura Saída (Média) -  $47^{\circ}C$
- . Vazão de Resfriamento - 34.22 KG/seg
- . Escoamento Ascendente

Desta forma, para a configuração proposta, e considerando-se um fator radial de 1.40, os seguintes resultados foram obtidos:

- . Temperatura Máxima Revestimento -  $72.8^{\circ}C$
- . Temperatura Máxima Refrigerante -  $49.6^{\circ}C$
- . Mínimo DNBR - 21
- . Fator de Instabilidade - 6.3

Estes valores não ultrapassam o limite de temperatura máxima do revestimento (Al), e não ultrapassam os critérios para fluxo crítico e instabilidade, portanto sendo viável do ponto de vista de transferência de calor nas condições nominais de operação. Além disso, observou-se que os parâmetros operacionais assumidos permitirão a operação com a falha de bomba sem violação do critério

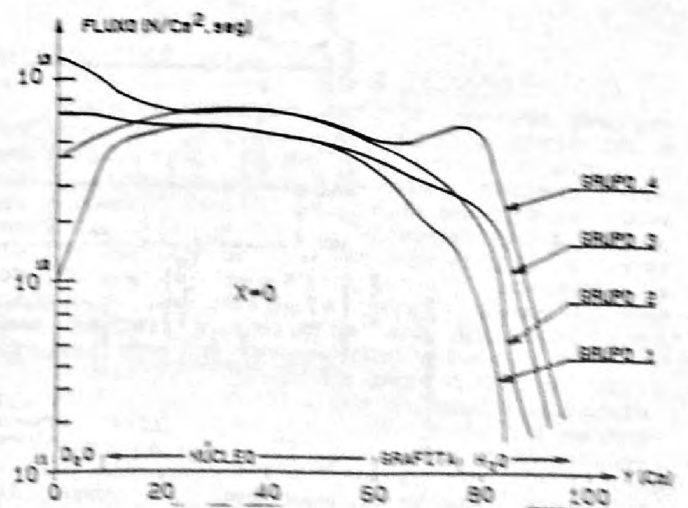
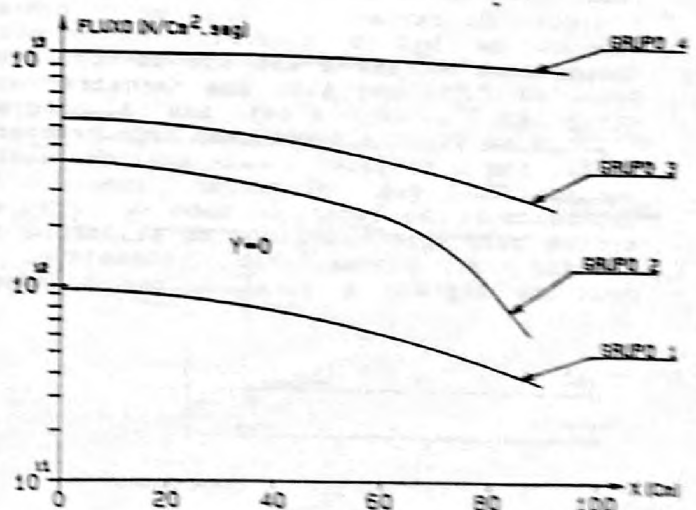


Figura 3 - Distribuição de fluxo

de máxima temperatura (inferior à 90°C em operação na potência nominal).

Pode-se prever ainda que o núcleo proposto não irá requerer resfriamento de emergência, sendo possível a remoção do calor residual por convecção natural com ar em caso de perda de água da piscina. Devido ainda o conceito de operação com o escoamento ascendente, os transientes de perda de escoamento serão facilmente acomodados.

#### PORTOS DE IRRADIAÇÃO - APLICAÇÕES MÉDICAS

Para a utilização do reator para a aplicação proposta (BNCT) é necessário o projeto de portos de irradiação que satisfaçam os critérios anteriormente descritos. Para o REPAM seriam propostos dois tubos de irradiação (térmico e epitérmico) retirados das laterais do tanque de D<sub>2</sub>O conforme ilustrado na figura 4. Esta concepção foi baseada num trabalho japonês<sup>(9)</sup> recentemente publicado, entretanto na fase de concepção seria necessário estudos paramétricos para definir colunas de irradiação mais adequadas.

A coluna térmica proposta seria constituída de um tubo cilíndrico com aproximadamente 20 cm de diâmetro contendo: i) uma camada de D<sub>2</sub>O de 40 cm, e seria localizada entre o tanque de D<sub>2</sub>O no núcleo e o tanque do reator; ii) uma região contendo lâminas de D<sub>2</sub>O e Alumínio, na proporção volumétrica de 15% e 85% com um comprimento total de 30 cm; iii) uma terceira camada vazia de 15 cm, e iv) uma blindagem de 20 cm de Bismuto (utilizado para remover os gamas, sem a produção indesejável de neutrons secundários que blindagem como o Pb introduzem). Ao redor do tubo de irradiação seriam colocados materiais de blindagem para reduzir a contaminação indesejável de neutrons rápidos e gamas. Estas blindagens

seriam basicamente i) aço com 15 cm de espessura; ii) polietileno borado com 15 cm de espessura; iii) lâminas alternadas de aço e polietileno borado na razão de 50% de cada material perfazendo uma espessura total de 50 cm; iv) lâminas alternadas de chumbo (30% em volume), polietileno borado (50% em volume) e aço (20% em volume) e v) uma camada de 2 cm de LiF. Toda esta blindagem seria embutida no concreto pesado que envolveria o tanque do reator, e como blindagem para o saquão de experimentos. Além disso, seria necessário existir uma blindagem móvel na saída do porto de irradiação que permitisse o acesso à sala de irradiação de maneira controlada.

A coluna epitérmica, após o tubo de D<sub>2</sub>O com 40 cm de comprimento seria constituída de: i) lâminas alternadas de Al (85%) e D<sub>2</sub>O (15%) com uma espessura total de 70 cm, ii) uma lâmina de 0.5 cm de LiF, e iv) uma blindagem de 15 cm de Bismuto. A blindagem envolvendo o tubo de irradiação, seria constituída de: i) aço (15 cm), ii) polietileno borado (15 cm), iii) lâminas alternadas de aço (50%) e polietileno borado (50%) com uma espessura total de 35 cm, iv) lâminas alternadas de chumbo (40%) e polietileno borado (60%) com uma espessura de 14 cm, v) uma segunda lamina fina de aço (1 cm) e vi) blindagem de chumbo móvel.

Além dos tubos de irradiação para aplicações médicas, seriam propostos outros recursos experimentais para aplicações em pesquisas físicas (Física Nuclear, Espectrometria, etc); química; biológicas (radiobiologia; estudos de irradiação de animais, etc.) entre outros. Basicamente estas instalações seriam tubos de irradiação; elementos de irradiação; tubos pneumáticos, etc. Seria sugerido uma célula de irradiação (ex: Co-60) que fosse localizada na piscina de estocagem de combustível, bem como uma pequena célula quente para manuseio de amostras irradiadas e transferência para recipientes blindados localizada no piso de operação.

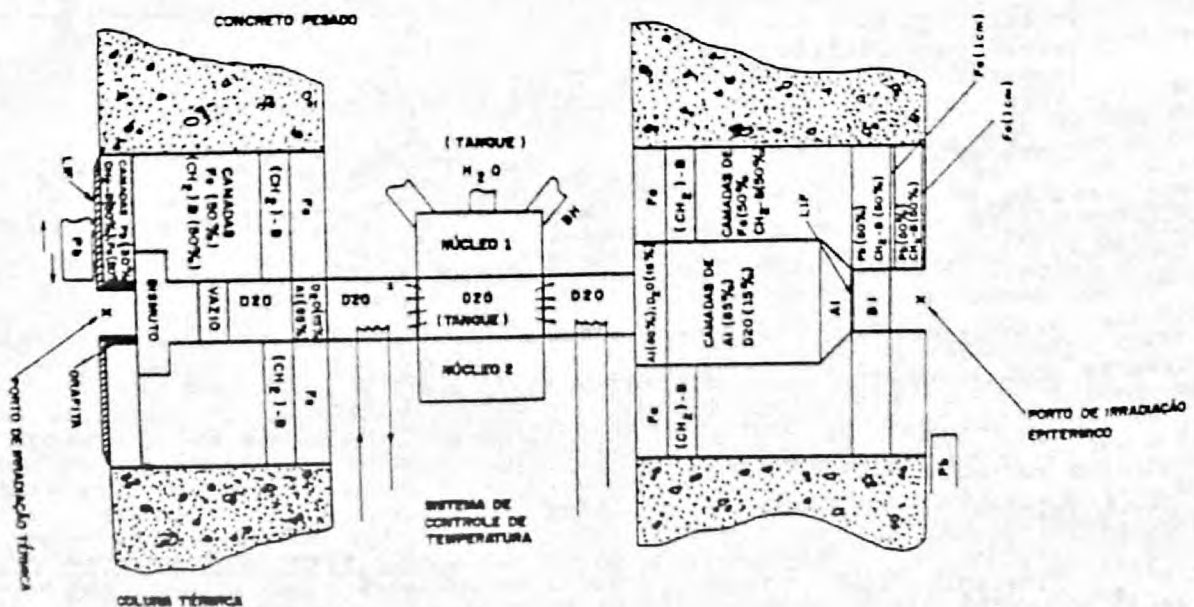


Figura 4 - Configuração esquemática das colunas térmica e epitérmica

## SISTEMAS DE RESFRIAMENTO E AUXILIARES

O sistema de resfriamento do reator, constituído do primário e secundário, proposto para o REPAM é ilustrado no fluxograma mostrado na figura 5. Em resumo, o sistema consiste de dois trocadores de calor; quatro bombas e duas torres de resfriamento.

Além do sistema de resfriamento do reator seriam necessários vários sistemas auxiliares, tais como: sistema de purificação de água; sistema de desmineralização; sistema de enchimento e drenagem dos tubos de irradiação; sistema de água de serviço; sistema de drenagem; sistema de monitoração e neutralização de efluentes; sistema de proteção e combate a incêndio; sistema de controle de temperatura da água pesada; sistema de esvaziamento rápido do tanque de D<sub>2</sub>O (Sistema de Segurança); sistema pneumático de amostras e sistema de ventilação e condicionamento de ar.

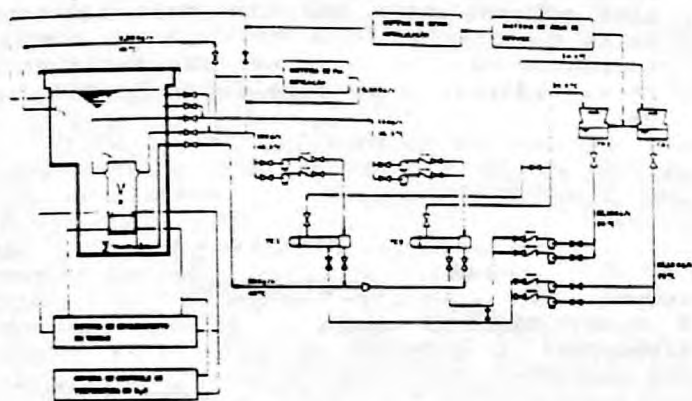


Figura 5 - Sistema de Resfriamento do Reator e Sistemas Associados

## INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

O sistema de controle proposto seria do tipo digital, podendo ser composto por unidades controladoras individuais ("single loop controllers") coordenadas por meio de um computador central. O Sistema permite a operação em modo manual e automático e tem como objetivo manter os parâmetros dos diversos sistemas dentro dos intervalos previamente estabelecidos. Além do sistema de controle, há a necessidade de um sistema de aquisição de dados, um sistema de controle de potência e reatividade, que visa manter a potência do reator num nível selecionado; um sistema de detecção nuclear interna, e um sistema de intertravamento operacional do tipo digital.

O sistema de proteção seria do tipo falha segura com uma lógica de votação 2 em 3. A instrumentação nuclear proposta seria constituída por canais nucleares do tipo CAMPBELL, com cada canal funcionando em toda faixa de operação do reator.

Além dos sistemas de controle e de proteção, há a necessidade de um sistema de monitoração da radiação (monitoração de área; monitoração de processo; e monitoração individual); um sistema de comunicação; e um sistema de monitoração para acompanhamento dos pacientes durante a irradiação.

## SISTEMAS ELÉTRICOS

Os sistemas elétricos propostos, basicamente seriam i) um sistema elétrico de serviço; ii) um sistema de geração de energia elétrica de emergência; iii) sistema de aterramento e iv) sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

O sistema elétrico de serviço teria como finalidade ligar as fontes de energia disponíveis, tanto em condições normais como de emergência, a todos os equipamentos elétricos da instalação, fornecendo aos mesmos as tensões e correntes apropriadas para seu funcionamento. Na figura 6 ilustra-se um diagrama unifilar proposto para o projeto do sistema elétrico.

O sistema de geração de emergência teria por objetivo suprir a energia necessária para manter em operação os equipamentos considerados vitais quando não se dispuser de fontes externas. O sistema proposto seria composto por dois geradores diesel (350 KVA) e dois bancos de bateria ligados a um barramento de 250 VDC e dimensionados para manter as cargas vitais por um período mínimo de 30 minutos até a entrada do diesel.

Os outros sistemas elétricos previstos, seriam o sistema de aterramento, e um sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

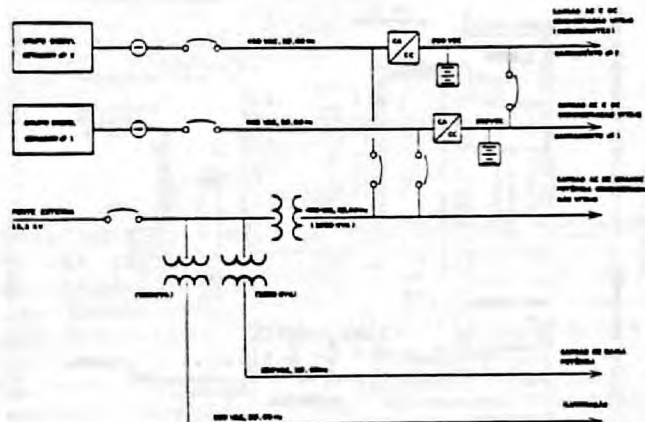


Figura 6 - Diagrama Unifilar

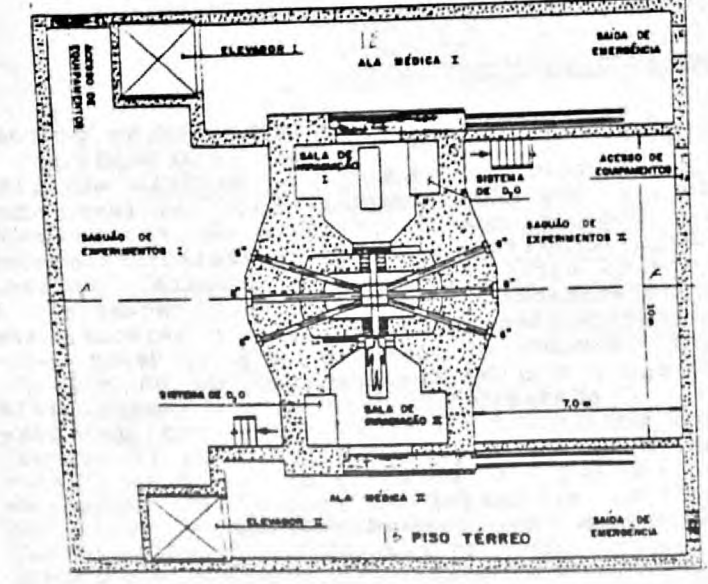
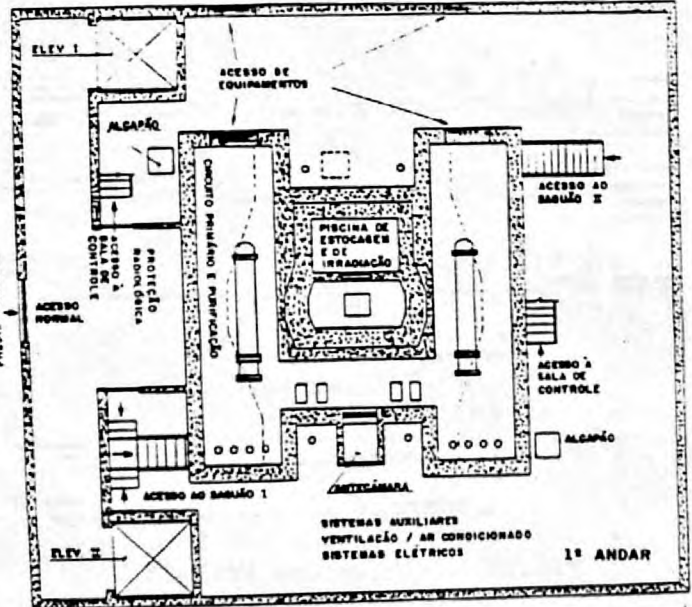
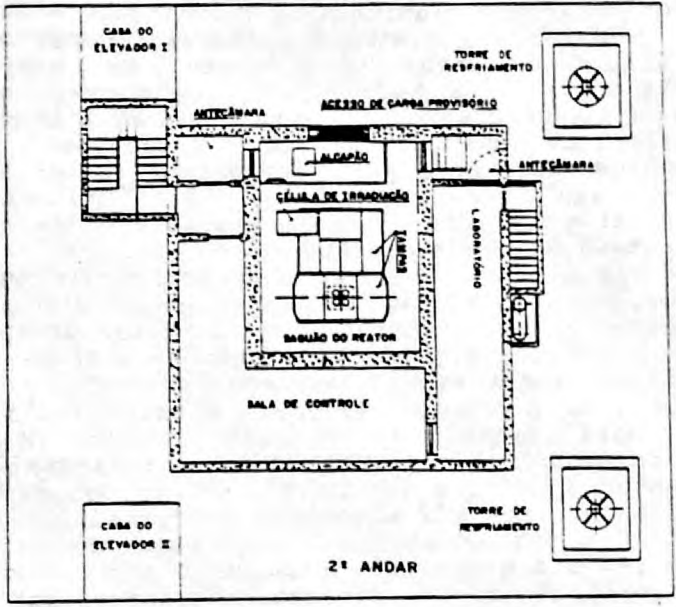
## ARRANJO (LAY OUT)

Para efeitos de arranjo, seriam propostas duas edificações: a) Edifício Auxiliar, e b) Edifício do Reator. O edifício auxiliar seria uma edificação não nuclear com comunicação com o edifício do reator onde seria localizada toda a infraestrutura médica (centro cirúrgico; pequeno hospital, unidade de tratamento intensivo, etc.) necessária à preparação do paciente para a terapia, bem como manter o paciente sob cuidados pós-terapia; com uma área estimada de 500 m<sup>2</sup>.

O edifício proposto para o reator seria uma edificação retangular ocupando aproximadamente 395m<sup>2</sup>, com uma altura de 15 metros. Internamente ao edifício do reator localizariam-se: a) tanque do reator; b) tanque de estocagem de combustível/célula gama; c) sistema de refrigeração principal; d) sistemas auxiliares; e) sistemas elétricos; f) salas de irradiação médica; g) sala de

controle; h) saguão de experimentos; i) proteção radiológica; j) sistemas de ventilação e ar condicionado.

Na figura 7, são ilustradas plantas e cortes do arranjo proposto para o edifício do reator, ilustrando visualmente a pré-concepção aqui proposta.



O núcleo do reator seria localizado em um tanque, com profundidade de aproximadamente 9 metros. Tomando-se como nível de referência (cota 0) a base do tanque, este teria dimensão (1,5 x 3,5)m até a cota 9m. Adjacente ao tanque do reator, seria localizada a piscina de estocagem de combustível, a qual teria dimensões de (1,5 x 2,5)m, e teria seu início numa cota + 4m, e uma coluna de água com 5m de altura. Internamente, na piscina de estocagem de combustível seria localizada uma célula gama. A ligação entre o tanque do reator e a piscina de estocagem seria por meio de um sistema de eclusa laminar.

O tanque do reator seria blindado por concreto pesado com 2,5m de espessura, fora das áreas destinadas à irradiação de pacientes, até uma cota na qual inicia a estocagem do combustível, quando então a espessura seria reduzida para 1 metro. Na cota zero (nível do solo) estariam localizados os 2 saquões experimentais, com 3 portos de irradiação cada saquão, e as duas alas médicas cada uma com suas respectivas salas de irradiação e controle. O acesso de pacientes para as alas médicas seria através de elevadores. O pé direito desse piso seria 3m.

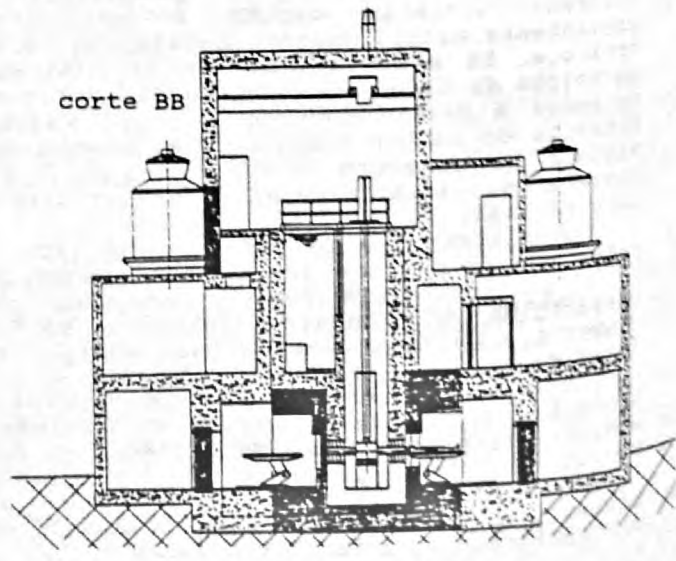
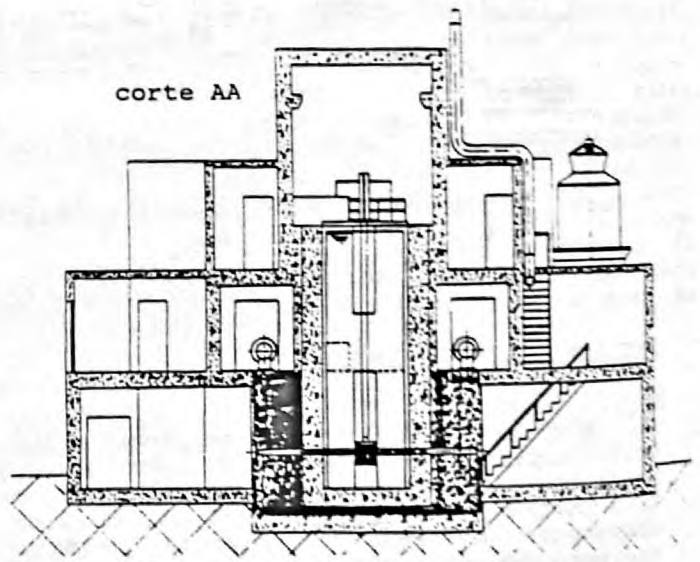


Figura 7 - Lay-out da instalação

No primeiro piso (cota 4 metros), haveria uma ligação com o edifício auxiliar. Este seria o único acesso normal ao prédio do reator (além das saídas de emergência e para acesso de equipamentos). Nesse acesso seria localizada a proteção radiológica, que controlaria o acesso de pessoas ao prédio do reator. O acesso ao saguão de experimentos e ao piso de operação seria via escadas e às alas médicas via elevador. Neste piso seriam localizadas as salas de máquinas com todos os equipamentos do circuito primário e purificação, sistemas auxiliares, ventilação e ar condicionado, sistemas elétricos, etc.

No piso de operação (cota 9m), estaria o acesso ao núcleo do reator e estocagem de combustível. Neste piso, cuja área seria reduzida para  $(11 \times 11) m^2$  estariam localizados o laboratório para contagem de amostra, sala de controle, e célula de irradiação. Esta área possuiria ponte rolante e controle do ar.

As torres de resfriamento seriam localizadas no teto do 2º piso e dissipariam o calor diretamente para o meio ambiente.

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a concretização do empreendimento é necessário o desenvolvimento de um projeto que detalhasse as idéias conceituais aqui apresentadas. Em vista do benefício social que o reator traria, o empreendimento deveria contar com todo apoio governamental, tanto a nível de Comissão Nacional de Energia Nuclear, quanto a nível do Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência e Tecnologia, etc. Além disso é sugerido contatos para financiamento a nível internacional, tais como a Organização Mundial de Saúde, Agência Internacional de Energia Atômica etc.

Excluindo-se a parte médica e equipamentos experimentais é estimado um custo total de US\$ 30 milhões com a seguinte divisão de despesas: i) projeto e licenciamento - US\$ 3 milhões; ii) construção - US\$ 8 milhões; iii) Equipamentos - US\$ 10 milhões; iv) montagem - US\$ 5 milhões; v) combustível - US\$ 4 milhões. Este montante não é demasiado, em vista que, anualmente, cerca de 3000 brasileiros são vítimas de tumores cerebrais malignos, e cada vida salva com certeza pagaria por si só tal empreendimento.

#### REFERÊNCIAS

- (1) Nuclear Research Reactores Status and Trends, IAEA, STI/PUB/746, IAEA, Viena, 1986.
- (2) Hatanaka, H. "Boron Neutron Capture Therapy", Lawer Academic Press, 1987.
- (3) Oka, Y.; I. Yanagisawa. & S. An, A Design Study of the Neutron Irradiation Facility for Boron Neutron Capture Therapy, "Nuclear Technology", vol.55, pp. 642-651, 1981.
- (4) Hatanaka, H. "Boron-Neutron Capture for tumors", Nishimara Co. Ltd, 1986.
- (5) "Reactor is Reviced os Cancer Tool", The New York Times, May 12, 1987.
- (6) Lussie, W.G. et alli, "Medical Therapy Reactor Preconceptual Design Studies", EGG-NERD-B337, Idaho, December 1988.
- (7) Damy, M.A.; M.M. da Silva & J.R. Maiorino, "Avaliação Teórica para a Determinação de um Espectro de Neutrons Convenientes a Técnica BNCT, I ENAN, Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, vol. I, pp.105-116, Recife, Pe, 1991.
- (8) An, S. at alli, Development Studies Regarding the Construction of Epithermal Enriched Neutron Field for Medical Purposes at the University of Tokyo, "Nuclear Technology", vol. 48, pp.204-215, 1980.
- (9) Oka, Y. et alli, A Design Study of Neutron Irradiation Facility for Boron Neutron Capture Therapy, "Nuclear Technology", vol. 55, pp.642, 1981.

#### SUMMARY

This work presents a preliminary conceptual design for a Medical Therapy Reactor of 1 MW designed for treating brain cancer by loading the tumor with a  $^{10}B$ -enriched boron compound and subsequent irradiation of the brain with low-energy neutrons (BNCT-Boron Neutron Capture Therapy). The work discuss the nuclear design, the medical irradiation parts and systems in general. Finally, a preliminar lay out is suggested and financial budges are estimated.