

IPEN/MB-01

Um reator nuclear projetado e construído no Brasil

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares desenvolveu e a Coordenadoria para Projetos Especiais da Marinha financiou a construção do primeiro reator nuclear inteiramente nacional.

Conheça aqui os detalhes deste projeto histórico.

A NUCLEAR REACTOR DESIGNED AND BUILT IN BRAZIL

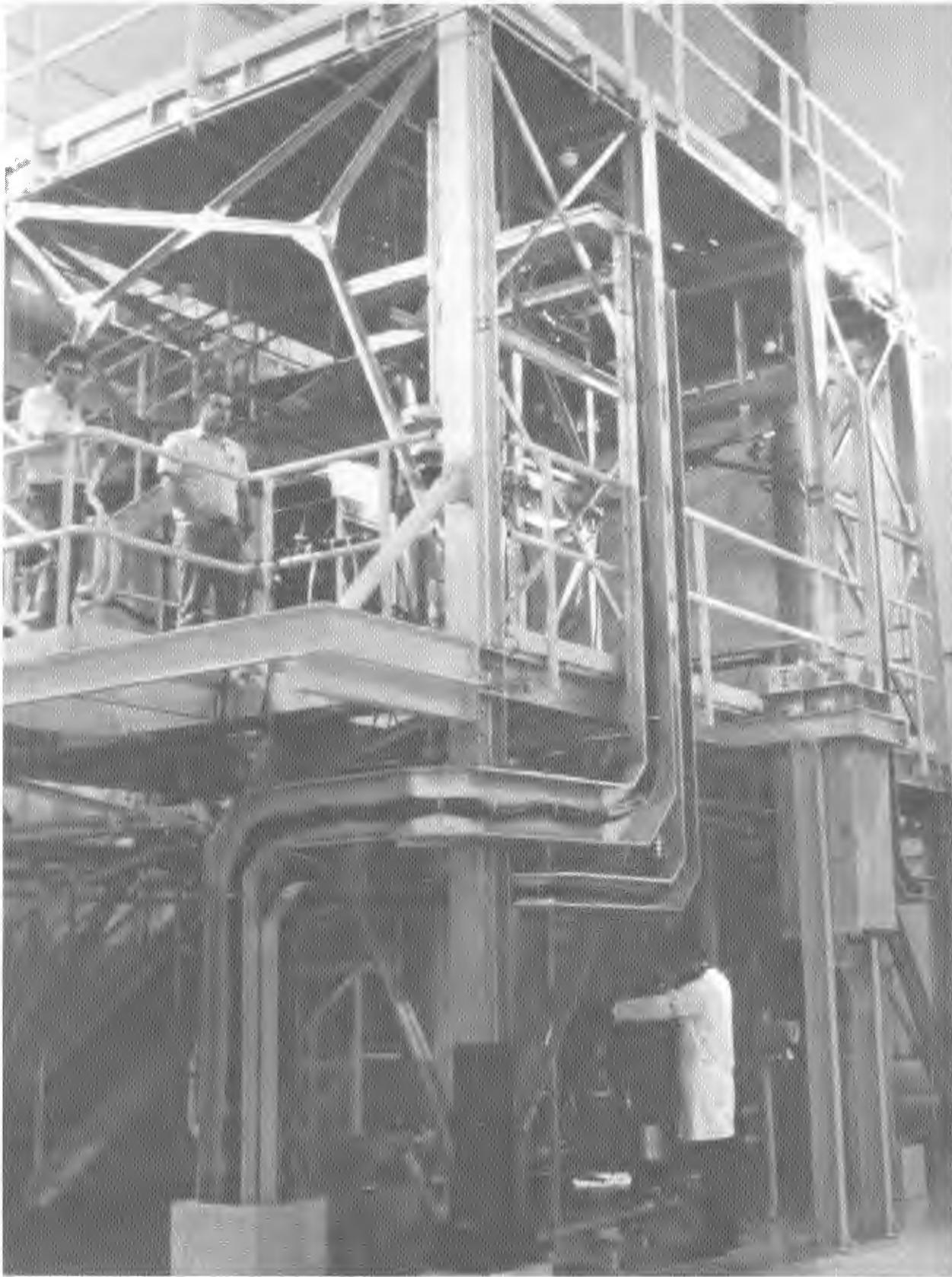
The Nuclear and Energy Research Institute developed and the Navy's Special Projects Coordination financed the construction of the first brazilian nuclear reactor. Find out in this article the details of this historic project.

TEXTO: JOSÉ RUBENS MAIORINO e ULYSSES D'UTRA BITELLI

O IPEN/MB-01 é um reator genuinamente brasileiro, concebido por pesquisadores e engenheiros do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP), financiado e construído pela Coordenadoria para Projetos Especiais (Copesp), órgão da Marinha do Brasil. Participaram do projeto várias empresas nacionais de consultoria, fabricantes de materiais e construtoras (Engevix, Contrubase, Jaraguá), bem como o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN-CNEN/RJ). O reator foi inaugurado oficialmente no dia 28 de novembro de

1988 às 15 horas e 30 minutos, em São Paulo, na cidade universitária "Armando Salles de Oliveira", com as presenças do governador Orestes Quécia e do ministro da Marinha Henrique Sabóia.

O projeto do reator IPEN/MB-01 foi iniciado em 1983, e suas obras foram concluídas em julho de 1988. No mesmo mês iniciaram-se os testes de seus vários sistemas. Cumpridas as normas exigidas para seu licenciamento, foi concedida ao IPEN, em 19 de outubro, pelas resoluções CNEN 23 e 25, a autorização para sua operação inicial. No dia 9 de no-



Plataforma de acesso ao núcleo do reator.



Na sala de controle, técnicos dirigem as experiências com o reator.

vembro de 1988, o reator funcionou pela primeira vez, atingindo a sua condição de criticalidade (ou seja, a reação de fissão em cadeia se tornou auto-sustentável), às 15 horas e 35 minutos.

Introdução

O interesse do Brasil pela energia nuclear remonta à década de 50, quando os esforços do almirante Álvaro Alberto resultaram na criação do CNPq e CNEN, culminando com a inauguração do Reator de Pesquisas IEA-R1, em 16 de outubro de 1957, projetado e construído pela empresa americana Babcock & Wilcox. O reator IEA-R1 é do tipo piscina, e encontra-se no IPEN em operação a um nível de potência de 2MW, sendo o principal responsável pela produção de radioisótopos com aplicações na indústria, medicina e agricultura, representando para o País uma importante fonte de economia de divisas de importação.

Depois do IEA-R1, o segundo reator de pesquisas inaugurado em nosso País foi o IPR-R1, do tipo Triga, de 100KW de potência, construído pela General Atomic para o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR) de Minas Gerais. O equipamento entrou em operação no dia 11 de outubro de 1960.

O terceiro reator nuclear de pesquisas brasileiro foi o IEN-R1, inaugurado em 20 de fevereiro de 65 no IEN do Rio de Janeiro. Seu projeto foi baseado na concepção americana denominada Argonauta (*Argonne's Nuclear Assembly*

for University Training), sendo grande a participação de empresas nacionais em sua construção.

Todos estes esforços em pesquisa e desenvolvimento no domínio da tecnologia nuclear sofreram uma desaceleração com a importação de pacotes tecnológicos (como por exemplo o acordo Brasil-Alemanha) que previam a construção de grandes usinas nucleares, além do domínio do ciclo do combustível nuclear com tecnologias não-comprovadas (enriquecimento de urânio pela técnica de jato centrífugo), inibindo a participação da inteligência nacional. Esta opção ignorou a capacidade econômica, tecnológica e industrial do País e, como os fatos demonstraram, foi totalmente descartada pela Nação, conforme vimos na recente reformulação do programa nuclear brasileiro.

No início da década de 80, a Marinha do Brasil, em conjunto com a Comissão Nacional de Energia Nuclear iniciou, através do IPEN, um programa de domínio autônomo de tecnologia nuclear. A médio prazo, este programa prevê o domínio do ciclo do combustível nuclear (vide a recente inauguração, no Centro Experimental de Aramar, da Usina de Enriquecimento Almirante Alvaro Alberto) com a utilização da técnica de enriquecimento por centrifugação e a construção de um reator de potência de água pressurizada (PWR) de pequeno porte. Ele poderá tanto ser utilizado para propulsão naval, como para geração de energia elétrica, possibilitando ao País a capacitação autônoma de projeto e a construção e operação de reatores nucleares de pequeno e

médio porte, mais adaptáveis à realidade técnica e econômica do Brasil.

Dentro desse programa se enquadra o reator nuclear IPEN/MB-01 – que, diferentemente dos demais reatores de pesquisas utilizados como fontes de nêutrons para produção de radioisótopos e pesquisas científicas acadêmicas, é uma maquete de um reator nuclear, ou seja, permite a simulação de todas as características nucleares de um reator de grande porte em escala reduzida, sem que haja a necessidade de se construir um complexo sistema de remoção de calor. Assim, esse tipo de reator é conhecido mundialmente como reator de potência zero, e, no caso específico, foi projetado para operar a uma potência máxima de 100 W. Os pesquisadores podem, por exemplo, desenvolver cálculos e projetos para um reator nuclear com determinada potência e simular as condições do projeto no reator IPEN/MB-01. Esse reator representa uma ferramenta básica que permite estudar não só por cálculos teóricos, mas também com medidas experimentais, o desempenho e as características do núcleo de um reator nuclear de potência, antes de sua instalação definitiva. Além disso, os resultados experimentais servirão para que os métodos de cálculo utilizados no IPEN-CNEN/SP para projetos de reatores possam ser avaliados e, quando necessário, aprimorados.

Descrição geral

A parte principal de um reator nuclear é, sem dúvida, o seu núcleo, onde se processam as reações nucleares de fissão, mantidas sob controle. Assim, a nossa descrição começará pelo primeiro núcleo utilizado pelo Reator IPEN/MB-01.

O primeiro núcleo do Reator IPEN/MB-01 possui a forma de um paralelepípedo, e apresenta dimensões ativas (com combustível) de 39 x 42 x 54,6 cm, sendo constituído de um arranjo de 28 x 26 varetas combustíveis, e 48 tubos-

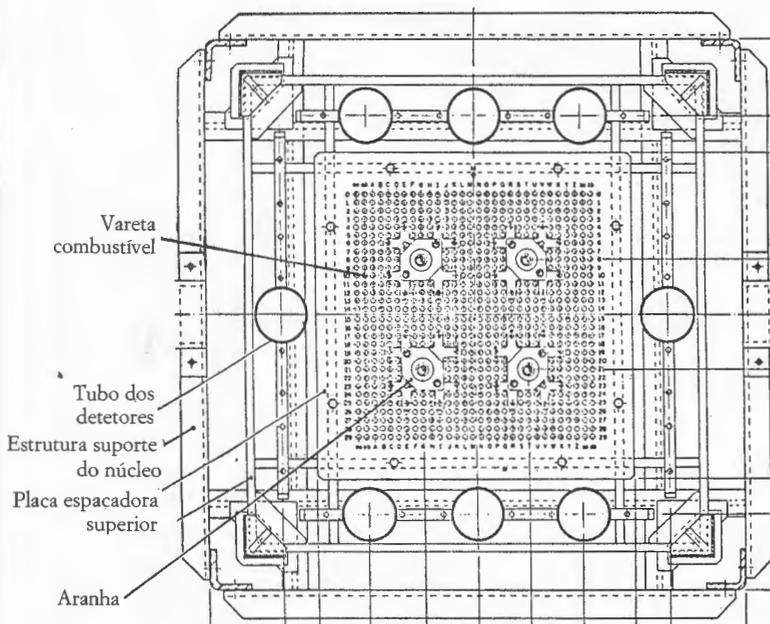
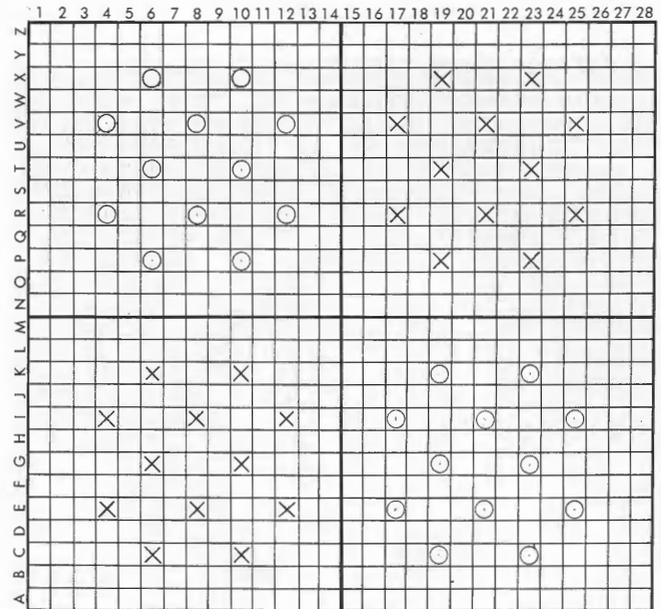


Figura 1 – Planta do núcleo



- Célula de combustível
- ⊗ Célula de elemento de controle – Ag – Ia – Cd
- ⊠ Célula de elemento de segurança – B C

Figura 2 – Seção transversal do 1º núcleo. Arranjo de 28 x 26

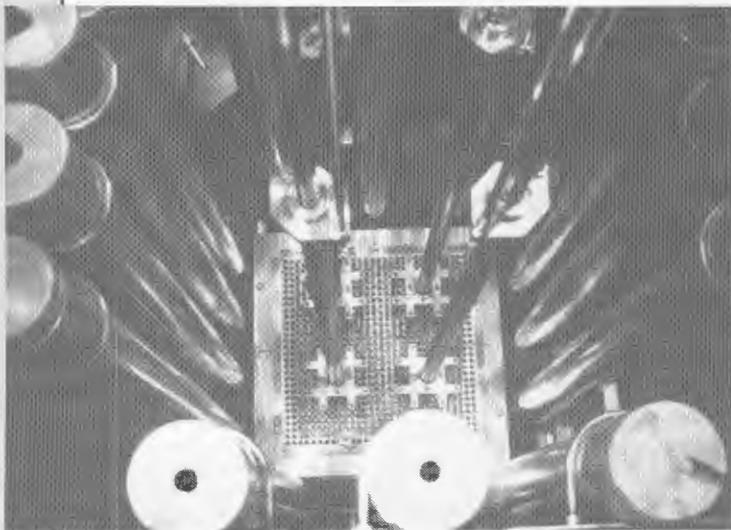
guias, destinados à inserção das varetas de controle/segurança, que são responsáveis pelo controle da reação em cadeia e desligamento do reator.

As varetas combustíveis são constituídas de tubos de aço inox, utilizado como revestimento, contendo em seu interior pastilhas de UO_2 , enriquecidas a 4,3%. As extremidades não-ativas das varetas são preenchidas com pastilhas de Al_2O_3 . Os 48 tubos-guias para as varetas absorvedoras de nêutrons estão dispostos em quatro grupos, contendo cada um deles 12 varetas absorvedoras, sendo dois grupos de barras de segurança, dispostas cada grupo em um quadrante do núcleo do reator.

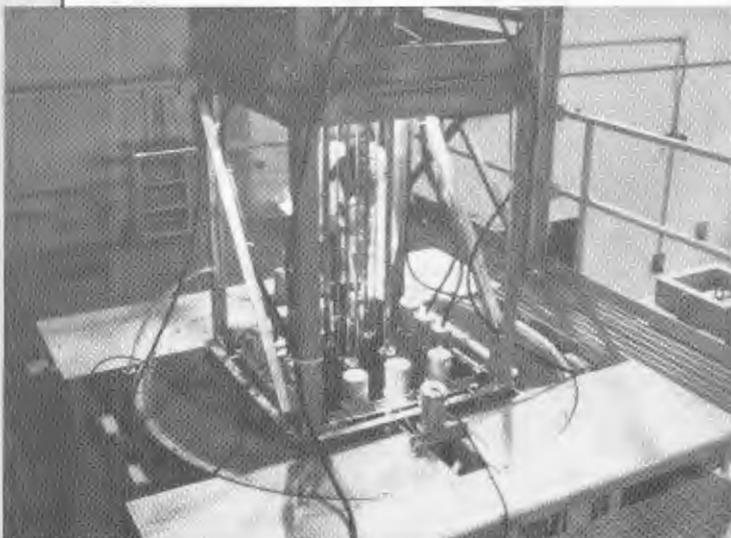
Os elementos de controle têm a função de ajustar o nível de potência do reator, enquanto os elementos de segurança que permanecem fora do núcleo ativo (retirados da região com combustível) quando este está em operação, têm a função de garantir o desligamento do reator através da queda livre das mesmas.

As funções exercidas pelas barras de controle e segurança de controle do nível de potência e desligamento do reator só são possíveis pelo fato dos materiais que as compõem apresentarem alta seção de choque de absorção de nêutrons térmicos, principais responsáveis pelas reações de fissão nuclear com os átomos de Urânio-235. Por seção de choque entende-se a grandeza que nos diz quão provável é a ocorrência de um determinado tipo de reação nuclear, para um dado nêutron de uma determinada energia.

As barras de segurança apresentam as mesmas características geométricas, diferenciando apenas quanto ao material absorvedor de nêutrons. Os elementos de controle utilizam uma liga de Ag-In-Cd para as varetas de controle, enquanto os de segurança utilizam BC, sendo em ambos os casos encapsulados num revestimento de aço inoxidável austenítico. Cada conjunto de 12 varetas absorvedoras são unidas



Interior da célula crítica.



O primeiro núcleo do reator, em funcionamento: inovação tecnológica em busca de energia nuclear brasileira.

através de um corpo central, denominado *aranha*, o qual é ligado a uma haste de acionamento, que por sua vez é conectada a mecanismos acionados por magnetos.

O núcleo do reator está assentado numa estrutura composta por três placas de aço, que contêm furos circulares, distanciados de 1,5 cm (distância centro a centro das varetas). As placas são ligadas entre si pelos tubos-guias das varetas absorvedoras e por colunas, formando um conjunto rígido de posicionamento do núcleo. É interessante destacar que a simples substituição dessas placas por outras com diferentes espaçamentos e configurações geométricas de furos permitem a montagem e o estudo de outros tipos de núcleos.

Todo o núcleo – bem como os mecanismos de acionamento de barras, as guias para as aranhas e o amortecedor de queda das barras – é apoiado por uma estrutura suporte, fixada na parte superior por uma plataforma metálica, e na parte inferior mantida suspensa no interior de um tanque, o qual contém água utilizada como elemento moderador. Co-

mo sabemos, a maioria das fissões ocorrem para nêutrons de baixa energia (nêutrons térmicos) e, quando da ocorrência das reações de fissão, os nêutrons gerados são de altas energias (nêutrons rápidos). Assim, a função da água é a de moderar e termalizar os nêutrons rápidos, ou seja, fazer com que os nêutrons gerados na fissão diminuam sua energia através de colisões elásticas com os átomos de hidrogênio presentes na água. Por tal motivo, o tanque que contém a água é conhecido pelo nome de tanque moderador.

Além dos elementos de controle e segurança, o sistema de controle de reatividade inclui um sistema de esvaziamento rápido do tanque moderador, com a conseqüente perda de fluido moderador e desligamento do conjunto crítico. Por reatividade (ρ), se entende a grandeza que nos dá o grau de afastamento do reator da sua condição de criticalidade. Ou seja, quando $\rho = 0$ dizemos que o reator está crítico – o número de nêutrons gerados e perdidos (absorção, fuga etc) da geração i é igual ao número de nêutrons gerados e perdidos na geração $i + 1$, mantendo-se então a reação em cadeia.

O sistema de esvaziamento rápido do tanque moderador é constituído por duas válvulas tipo borboleta, de abertura rápida e diâmetro de 50,8 cm, localizadas na base do tanque moderador. Tais válvulas são desenergizadas e abertas a partir de um sinal oriundo de um sistema de controle, permitindo o esvaziamento do tanque moderador e o desligamento dentro de um tempo condizente com os exigidos pelo critério de projeto. A água drenada é estocada num *tanque de estocagem*.

A instrumentação responsável pelo controle e instrumentação do reator é constituída de dois canais de partida (BF_3), dois canais de potência (câmaras de ionização compensadas – CIC), dois canais lineares (câmaras de ionização – CI), um canal de segurança de partida (BF_3) e três canais de segurança para a faixa de potência (duas CI e um detector BF_3).

A fonte de partida do reator e de Am-Be de ICi de atividade, cuja intensidade é de $2,5 \times 10^6$ nêutrons/s. Esta fonte é fixada num carrinho móvel que a mantém fixa na base do núcleo, quando da partida do reator. Convém salientar que tal fonte é um quesito de segurança para os detectores da instrumentação do reator, que devem ser capazes de detectá-la. Caso isso não ocorra, o reator não será ligado. Por esse motivo, a fonte é chamada de partida, e não pelo fato de ela prover nêutrons extras ao núcleo, tendo em vista que este já possui massa crítica suficiente para manter a reação em cadeia.

O controle da instalação é feito por um sistema de monitorização da radiação e um sistema de proteção que, através de uma lógica, redundância, independência, diversidade e intertravamentos adequados, permitem a operação segura, levando em conta a flexibilidade que tal instalação eminentemente experimental deve ter.

Sistemas auxiliares possibilitam que circule a água desmineralizada, que esta seja continuamente purificada e que sua temperatura seja controlada, além de permitir o controle de enchimento e nível de água no tanque moderador. O sistema também possibilita a inserção de boro na água do tanque moderador em concentrações conhecidas, o que é particularmente interessante para a realização de experimentos.

Todos os sistemas citados (núcleo, tanque moderador, detectores dos canais nucleares, controle de barras etc) estão

situados dentro de um prédio estanque, mantido à pressão negativa (caso haja uma perda da estanqueidade, o ar de fora do prédio é que entra), denominado *célula crítica*, construído com paredes de concreto, com a função de confinamento e blindagem (veja figura 1).

A fim de controlar a emissão de gases na atmosfera, provenientes da ativação do ar ao redor do núcleo ou mesmo devido a um hipotético acidente, existe um sistema de gestão de efluentes gasosos que permite fazê-lo dentro dos níveis estabelecidos pelos mais rígidos critérios internacionais.

As principais características do primeiro núcleo utilizado no reator IPEN/MB-01 podem ser visualizadas na tabela 1.

Anexo à célula crítica, situa-se um prédio contendo a sa-

la de controle do reator, sala de aquisição de dados experimentais, laboratório de medidas de parâmetros nucleares, proteção radiológica, eletrotécnica etc.

De uma forma resumida, o objetivo principal do projeto é simular em escala real uma série de parâmetros nucleares (distribuição do fluxo de nêutrons, distribuição de potência, reatividade etc) a fim de otimizar o projeto do núcleo e medir o seu desempenho. Com isso, será possível validar e aperfeiçoar a metodologia de cálculo, estimular o desenvolvimento tecnológico em instrumentação nuclear e capacitar a nossa indústria para as rígidas normas de controle de qualidade nuclear, adquirindo experiência no gerenciamento de um projeto tipicamente nuclear.

Assim, o projeto e a construção do reator representam o primeiro passo que o Brasil dá em direção ao seletivo grupo de nações com capacitação científica e tecnológica para a construção e operação de centrais nucleares geradoras de energia elétrica e propulsão naval. Desse modo, o País prepara-se para a escassez de energia que enfrentaremos já no término deste século.

CONJUNTO CRÍTICO	
Arranjo (4 quadrantes)	28 x 26
Número de varetas combustíveis	680
Seção transversal do núcleo	42 x 39 cm
Altura do núcleo ativo	54,6 cm
Espaçamento entre centro das varetas	1,5 cm
VARETAS COMBUSTÍVEIS	
Revestimento	aço inox (AISI - 304)
Comprimento	119,4 cm
Comprimento ativo	54,6 cm
Diâmetro externo do encamisamento	0,98 cm
Diâmetro interno do encamisamento	0,86 cm
Pastilha	UO ₂ (94% DT)
Altura da pastilha	1,05 cm
Diâmetro da pastilha	0,849 cm
Enriquecimento	4,3 w/o
VARETAS DE CONTROLE/SEGURANÇA	
Revestimento	aço inox (AISI-304)
Comprimento	127,9 cm
Comprimento ativo	100 cm
Diâmetro externo	0,98 cm
Diâmetro interno	0,86 cm
MATERIAL ABSORVEDOR	
Controle	Ag (80%) - In (15%) - Cd (5%)
Segurança	B ₄ C (52% DT)
Número total de varetas	
Controle	24
Segurança	24
NEUTRÔNICA	
Excesso de reatividade	3160 pcm
Fluxo térmico médio/watt	4,5 x 10 ⁶ n/cm ² .s
Fluxo rápido médio/watt	1,7 x 10 ⁷ n/cm ² .s

Tabela 1 - Características nucleares do primeiro núcleo utilizado no reator IPEN/MB-01.

Autores

DR. JOSÉ RUBENS MAIORINO

Chefe da Divisão de Física de Reatores (RTF) do IPEN-CNEN-SP.

ULYSSES D'UTRA BITELLI

Engenheiro e físico do Grupo Experimental de Medidas de Parâmetros Nucleares da RTF do IPEN-CNEN/SP. Supervisor em radioproteção industrial (IR-0172).

REFERÊNCIAS

- 1 - Maiorino, J.R. et alii. "Projeto Nuclear da Unidade Crítica. IPEN/MB-01", Depto. de Tecnologia de Reatores, VII ENFIR (1989).
- 2 - Pasqualetto, Hertz. "IPEN/MB-01", Departamento de Reatores e circ. experimentais, curso ARCAL V RLA /4/007-005 (1988).