

por

Hertz Pasqualetto

RESUMO--Neste trabalho são apresentadas as principais características da bancada experimental denominada por Unidade Crítica. Ela consiste em um conjunto de sistemas, estruturas e componentes necessários a execução segura de experiências onde os arranjos de material fissil possam atingir a condição de criticalidade. O IPEN/MB.1 tem por finalidade principal o estudo do comportamento neutrônico em arranjos críticos, e o desenvolvimento de núcleos de reatores moderados com água leve.

### INTRODUÇÃO

A construção da Unidade Crítica tem por finalidade alcançar os seguintes objetivos:

Simulação, em escala real, dos aspectos neutrônicos, para medir o desempenho nuclear e remediar possíveis problemas de projeto, para então o núcleo poder ser transferido para o protótipo, ou reator demonstração, em escala de potência real.

Experiência administrativa num projeto tipicamente nuclear, e treinamento calculacional, experimental etc... de toda equipe de projeto.

Estimular o desenvolvimento de tecnologia em instrumentação nuclear, sistemas de controle, acionamento de barras de controle etc.

Experiência no carregamento de elementos combustíveis.

Estimular firmas de projeto e indústrias nacionais na contribuição de um projeto tipicamente nuclear.

Experiência em operação de reatores.

### DOCUMENTOS BÁSICOS UTILIZADOS NO PROJETO

BNL-50831 - Design Guide for Category I Reactors - Critical Facilities.

Safety Series-35 - Safe Operation of Research Reactors and Critical Facilities.

CNEN-NE.1-04 - Licenciamento de Instalações Nucleares.

### CRITÉRIOS GERAIS DE PROJETO

Mecanismos que adicionam reatividade devem ter capacidade menor que aqueles que a retiram.

O máximo excesso de reatividade (3160) não deve nunca exceder a reatividade total de cada um dos mecanismos de desligamento.

A máxima taxa de inserção de reatividade deve ser limitada em 20 pcm/seg.

A máxima reatividade introduzida por um aparato experimental deve ser limitada em 500 pcm.

Os coeficientes de reatividade devido a temperatura ( $\alpha_M, \alpha_T$ ) e o coeficiente de vazio ( $\alpha_v$ ) deverão ser negativos.

Deve existir no mínimo 2 mecanismos de desligamento, totalmente independentes. Cada um deles deve absorver no mínimo 1,25 vezes o excesso de reatividade do núcleo.

O tempo de operação dos mecanismos de desligamento deve ser no máximo igual à 50% do período do reator quando a máxima adição de reatividade é feita acima do valor crítico.

Antes de qualquer inserção de reatividade por carregamento de varêtas combustíveis, retirada de barras ou enchimento do tanque do moderador, é necessário assegurar uma contagem mínima nos canais de partida.

A reatividade das barras deve ser tal que satisfaça ao "critério de barra presa", isto é, caso a barra mais reativa ficar presa na posição limite de retirada, as demais barras serão suficientes para desligar o reator.

Não deve haver vazios no núcleo que possam acidentalmente serem preenchidos com água durante a operação do reator.

### DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO

A Unidade Crítica é constituída basicamente por 3 edificações:

- Célula Crítica
- Edifício de Apoio
- Edifício Auxiliar

. Célula Crítica

Neste edifício serão realizados os experimentos críticos. Tem forma quadrada em planta, com dimensões internas de 14x14 metros, dispendo de três pavimentos:

Térreo: com 13 metros de pé direito, abrigando o Tanque Moderador, estrutura metálica de suporte com acesso, Subsistema de Controle de Reatividade, instrumentos de medidas, Sistema de Transporte na Célula Crítica, composto por ponte rolante com duas talhas com capacidade de 10 e 1,5 toneladas, Sistema de Manuseio e Estocagem de Combustível, com 21 covas para armazenamento de combustível novo ou irradiado.

1º Subsolo: com 3,5 metros de pé direito, abriga o Tanque de Estocagem, tubulação, válvulas de controle, bombas, motores, filtros desmineralizadores, trocadores de calor, Sistema de Esvaziamento Rápido do Tanque Moderador e parte do Sistema de Condicionamento de Ar e Ventilação da Célula Crítica.

2º Subsolo: com 2,5 metros de pé direito, abriga o Tanque de Decaimento e a bomba de drenagem, Sistema da Fonte de Partida e o restante do Sistema de Condicionamento de Ar e Ventilação da Célula Crítica e do Sistema de Esvaziamento Rápido do Tanque Moderador.

A edificação é construída em concreto protendido, com paredes de 1,50 metros de espessura até a altura de 6,0 metros acima do nível térreo, passando a 0,75 metros até o nível da lage de cobertura cuja espessura é 0,50 metros. Essas paredes têm como funções principais a blindagem biológica e o confinamento do ambiente interno para impedir a liberação não controlada de gases radioativos.

O acesso à Célula Crítica é feito por duas entradas:

Corredor de acesso: em forma de L, interligando a Célula Crítica ao Prédio de Apoio. Na entrada da Célula, o corredor, com paredes de 60 cm de espessura, é protegido por blocos de concreto com espessura de 1,5 m, dispondo, na outra extremidade, de uma porta corta-fogo e duas portas estanques a gases.

Acesso externo: abertura de 3,5 x 3,5 metros, protegida por porta deslizante de concreto com espessura de 1,5 metros. Após a construção e montagem dos equipamentos na Célula Crítica, a abertura, foi reduzida, com a construção de paredes de alvenaria, deixando-se apenas uma abertura de 2,10 x 1,20 metros, protegida por duas portas estanques a gases, formando uma antecâmara.

Se necessário, estas paredes poderão ser removidas para entrada ou saída de peças ou equipamentos de grande porte.

#### . Edifício de Apoio

Este edifício está dividido em setores de acordo com a atividade desenvolvida.

- Setor de Controle: É uma área estanque, constituída pela sala de controle, sala de aquisição de dados, sala de eletrotécnica, laboratório de eletrônica e galeria de cabos. O isolamento é obtido por paredes de concreto e portas duplas estanques à gases.

Na sala de controle serão instalados os painéis de instrumentação e controle do Conjunto Crítico bem como dos sistemas de água e ar condicionado.

Na sala de aquisição de dados estão instalados os equipamentos de monitoração e registros das experiências a serem realizadas na Célula Crítica.

Na sala de eletrotécnica estão alocados os centros de controle de motores e os quadros principais de luz.

As baterias do Sistema Elétrico de Emergência estão instaladas num compartimento estanque à gases e com ventilação própria, denominado sala de baterias.

O acesso à galeria de cabos é por escada tipo quebra-peito a partir da sala de eletrotécnica. Todos os cabos originados na área de controle são conduzidos a Célula Crítica pela galeria de cabos através de penetrações na parede de concreto, sendo estas penetrações independentes para os cabos de eletrotécnica de instrumentação, de controle e de aquisição de dados. Esta área tem condicionamento de ar independente do restante do prédio.

- Laboratórios: Área constituída por três laboratórios denominados L1, L2 e L3, sala de descontaminação, oficina, sala e saguão de proteção radiológica.

O laboratório L1 será utilizado como sala de contagens, o L2 como Sala de apoio à operação e o L3 como laboratório químico geral.

A sala de descontaminação dispõe de chuveiros e pias, uma lavanderia e um pequeno depósito de materiais radioativos de baixa atividade.

A oficina será utilizada como depósito de ferramentas e instrumentos, dispondo de bancadas para pequenos trabalhos.

A sala de proteção radiológica e o saguão de proteção radiológica compreendem uma área de segurança destinada ao controle radiológico e de acesso a Célula Crítica. Essa área será ocupada, principalmente, por painéis de re-

gistros, equipamentos portáteis de monitoração. Na área de laboratórios, o condicionamento de ar é independente do restante do prédio, os pisos e paredes são de fácil descontaminação, as redes de água e esgotos são alojados em canaletas, e as paredes são de concreto com 0,20 metros de espessura, com a finalidade básica de blindagem da radiação e confinamento de gases.

- Administração, área convencional: do ponto de vista de segurança, onde estão alocados os vestiários, sanitários, sala de gerência e portaria. Na sala da gerência o condicionamento de ar é provido por aparelho individual. Nos vestiários, sanitários e portaria, a ventilação é natural, efetuada por domo na laja de cobertura.

#### . Edifício Auxiliar

É um prédio de dois pavimentos situado junto a Célula Crítica, destinado a abrigar os Sistemas de Tratamento da Água de Alimentação, de Condicionamento de Ar e Ventilação do Edifício de Apoio, Ar Comprimido para instrumentos e Combate a Incêndio. As tubulações são conduzidas até a Célula Crítica através de poço e canaleta ao nível do segundo subsolo, com penetrações estanques.

Além das instalações já descritas existe no projeto da Unidade Crítica um compartimento de tratamento de rejeitos, que inclui um Tanque de Retenção e um Tanque de Mistura, que compõem o Sistema de Esgoto Quente. (Ver capítulo 11).

Também fazem parte da instalação a cabine primária de transformação e a sala do gerador diesel, já existentes nas proximidades da área de implantação da Unidade Crítica. Os cabos de interligação são conduzidos em galerias com caixas de inspeção. As penetrações de cabos na sala de eletrotécnica são estanques a gases.

### CONJUNTO CRÍTICO

Conjunto Crítico é uma montagem de material fissil onde a reação de fissão em cadeia é auto-mantida e controlada a baixos níveis de potência e de forma que em operação normal, os efeitos de realimentação de temperatura não são significativos.

O primeiro núcleo é composto por um conjunto de varetas combustíveis suportadas entre duas placas, que garantem um espaçamento adequado para os componentes do núcleo. As varetas combustíveis são de aço inoxidável, contendo pastilhas de  $UO_2$  enriquecidas a 4,3 % e as varetas de controle são construídas com liga Ag-In-Cd e revestidas com aço inoxidável.

Além dos elementos de controle, o Conjunto Crítico tem elementos de segurança construídos com pó compactado de Carbeto de Boro ( $B_4C$ ) numa vareta de aço inoxidável.

As varetas combustíveis têm como estrutura suporte uma treliça fixada na estrutura exterior ao Tanque Moderador, que serve também para fixar o Sistema de Controle de Reatividade.

A movimentação dos elementos de controle e de segurança é comandada pelo Subsistema de Controle de Reatividades, cuja concepção está baseada em mecanismo de parafuso e porca móvel com magneto de acoplamento.

O desligamento do núcleo se dá pela interrupção da corrente elétrica no magneto, que provoca o desacoplamento magnético do sistema e, consequentemente, a inserção dos elementos pela ação gravitacional.

Além do desligamento pelos elementos de controle e de segurança, está previsto no projeto um mecanismo de desligamento independente e redundante, que consiste na drenagem rápida do moderador através de duas válvulas de abertura rápida tipo borboleta. Estas válvulas estão situadas nos tubos que interligam o Tanque Moderador ao Tanque de Estocagem (ver seção 6.4) e cada uma delas tem capacidade de drenar, independentemente, todo o volume de moderador num intervalo de tempo compatível com o desligamento do núcleo.

São partes fundamentais do Conjunto Crítico o Tanque Moderador, o Tanque de Estocagem, o Tanque de Decaimento e a estrutura metálica de sustentação do núcleo.

O Tanque Moderador é um cilindro metálico que contém a água de moderação e dentro da qual fica imerso o Conjunto Crítico (núcleo).

O tanque é aberto na parte superior para permitir a introdução dos elementos de controle e segurança e a instrumentação. Na parte inferior possui orifícios para instalação das válvulas de drenagem do moderador e um orifício para passagem do tubo guia por onde é introduzida a fonte de neutrons, necessária para a partida do reator.

Ao redor do Tanque Moderador existe uma estrutura metálica que permite o acesso ao topo do tanque bem como para o Subsistema de Controle de Reatividade e a estrutura suporte do núcleo.

O Tanque de Estocagem está localizado numa cota inferior, deslocado horizontalmente do eixo vertical do Tanque Moderador e ligado a este por tubulações. É um cilindro metálico e sua função é a de estocar a água do sistema quando a instalação não estiver em operação.

O Tanque de Decaimento fica abaixo do Tanque de Estocagem e é semelhante a este. Sua função é a retenção de toda a água do sistema em caso de acidente que resulte na contaminação dessa água.

### PRINCIPAIS SISTEMAS DA UNIDADE CRÍTICA

#### Sistema de Controle

Esse sistema compreende o Subsistema de Controle de Processo, Subsistema de Controle de Reatividade e Subsistema de Aquisição de Dados.

O controle de processo compreende os mecanismos necessários ao controle da temperatura e do nível do moderador. O controle de reatividade é realizado principalmente por um mecanismo de elementos de controle/segurança fabricados com materiais absorvedores de nêutrons. A aquisição de dados serve principalmente para o acoplamento, tratamento e registros automáticos das variáveis de processo.

#### Sistema de Proteção

O Sistema de Proteção da Unidade Crítica é composto pelos Subsistemas de Instrumentação Nuclear e Intertravamento. A instrumentação nuclear compreende diversos canais (partida, potências, segurança 1, segurança 2, linear, comparadores) e tem por finalidade manter a operação e o controle da instalação dentro de limites seguros. O Subsistema de Intertravamento realiza a combinação lógica de certas variáveis visando o controle de atuação dos dispositivos de segurança da Unidade Crítica.

## Sistemas Elétricos de Serviço e de Emergência

Esses sistemas têm a função de fornecer energia elétrica dos diversos sistemas que compõem a Unidade Crítica, em operação normal, anormal e em condições de acidente. Sua disponibilidade e a confiabilidade são tais que garantem o suprimento de energia aos sistemas da Unidade Crítica, sendo compatíveis com o grau de importância desses sistemas.

Ele é constituído por uma fonte externa e fontes locais de suprimento de eletricidade. A fonte externa é a rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, e as fontes locais são formadas por um grupo gerador - motor diesel e dois dispositivos estáticos independentes de alimentação ininterrupta.

### Sistema de Monitoração da Radiação

Este sistema refere-se à instrumentação necessária para a monitoração de área, monitoração de dutos de ar e monitoração do ar propriamente dito. Sua função básica é promover a proteção e segurança da Unidade Crítica e do pessoal a ela relacionado.

Os valores das variáveis obtidas por esse sistema são mostrados no painel da sala de controle, sendo uma parte deles fornecidos também a mesa de monitoração da sala de proteção radiológica.

A monitoração de área se destina a fazer de modo contínuo, o controle radiológico em locais fixos e estratégicos da Unidade Crítica, possuindo alarmes de nível de radiação e de falha interna.

A monitoração de dutos de ar é feita em pontos importantes dos circuitos de recirculação, condicionamento e exaustão de ar, através de monitores de radiação, cuja finalidade é iniciar algumas ações de controle, monitoração e alarme.

Para a monitoração do ar estão previstos dois conjuntos de monitores compostos por uma bomba de vácuo acoplada a um filtro e a um detector de radiação. O sinal obtido é processado e analisado, sendo fornecido o valor da atividade depositada no filtro.

### Sistema de Isolamento da Célula Crítica

Esse sistema é composto por dois subsistemas: Intertravamento das Portas de Acesso Interno e Acesso Externo.

O subsistema de Intertravamento de Acesso Interno compreende um conjunto de duas portas estanque a gases com sentidos de abertura apostos. O acesso à Célula Crítica através dessas portas só é possível com o conjunto Crítico desligado.

O Acesso Externo é provido de duas portas em série, estanque a gases, com intertravamento de acionamento na sala de controle.

### Sistema de Condicionamento de Ar e Ventilação da Célula Crítica

O Sistema de Condicionamento de Ar e Ventilação da Célula Crítica é constituído pelos Subsistemas de Insuflamento, de Exaustão e de Recirculação, devendo manter o ambiente da Célula Crítica livre de produtos ativáveis e em condições de habitabilidade. Além disso, evita a contaminação do meio ambiente externo através da manutenção dos gases de exaustão dentro dos padrões de liberação. Age também como mecanismo de segurança intrínseca, mantendo a atmosfera interna da Célula Crítica sob pressão negativa. Em situação de emergência, controla o lançamento de gases radioativos na atmosfera e ajuda a descontaminação

do ambiente interno da Célula Crítica.

#### Sistema de Controle da Temperatura da Água e Enchimento Rápido

Este sistema tem a função de encher rapidamente o Tanque Moderador, ou, através de recirculação, ajustar a temperatura da água em um valor pré-determinado.

A água é recirculada a partir do fundo do Tanque de Estocagem, de onde é bombeada para um trocador de calor para o Tanque Moderador, retornando por gravidade através do extravasor de regulagem de nível, até o Tanque de Estocagem. A recirculação também é possível com o isolamento do Tanque de Estocagem, pela configuração das válvulas da linha de desvio.

Este sistema está intertravado de maneira que as bombas só funcionarão até que seja estabelecido o nível do Tanque Moderador, estando os elementos de controle e segurança inseridos, as válvulas de drenagem do Tanque Moderador fechadas, e quando estiver garantido o nível de água do Tanque de Estocagem.

#### Sistema de Esvaziamento Rápido do Tanque Moderador

Esse sistema é constituído por dois tanques cilíndricos (Tanque Moderador e Tanque de Estocagem) situados em cotas diferentes e interligado por duas vias de drenagem providas de válvulas borboleta. Sua função básica é desligar a Unidade Crítica em situações de emergência.

#### Sistema de Tratamento da Água do Moderador

Este sistema tem a função de tratar a água de moderação após a realização das experiências, de modo a garantir a manutenção da qualidade da água. A circulação de água através desse sistema é feita pelas bombas que atendem ao Sistema de Controle de Temperatura da Água e Enchimento Rápido (SCTAER)

O tratamento da água é feito por filtração.

#### Sistema de Dosagem de Boro

Este sistema tem a função de preparar solução de boro para experiências que necessitem a presença de boro dissolvido na água de moderação. A solução é obtida a partir da água proveniente do Tanque de Estocagem e de ácido bórico adicionado manualmente, até se obter a concentração desejada. Para solubilizar o ácido é usado um tanque provido de agitador e de resistência elétrica para aquecimento da água. O recalque de água neste tanque é feito por qualquer uma das bombas do Sistema de Controle de Temperatura da Água e Enchimento Rápido (SCTAER). A solução obtida neste tanque de preparo escoia por gravidade para o Tanque de Estocagem.

#### Sistema de Lavagem de Equipamentos

Este sistema tem a função de distribuir água fria ou quente através de mangueiras, para lavagem do Tanque Moderador e equipamentos auxiliares após experimento que utilize boro. O procedimento de lavagem é possível somente com as válvulas de drenagem do Tanque Moderador abertas e o Conjunto Crítico desligado.

#### Sistema de Decaimento de Fluídos da Célula Crítica

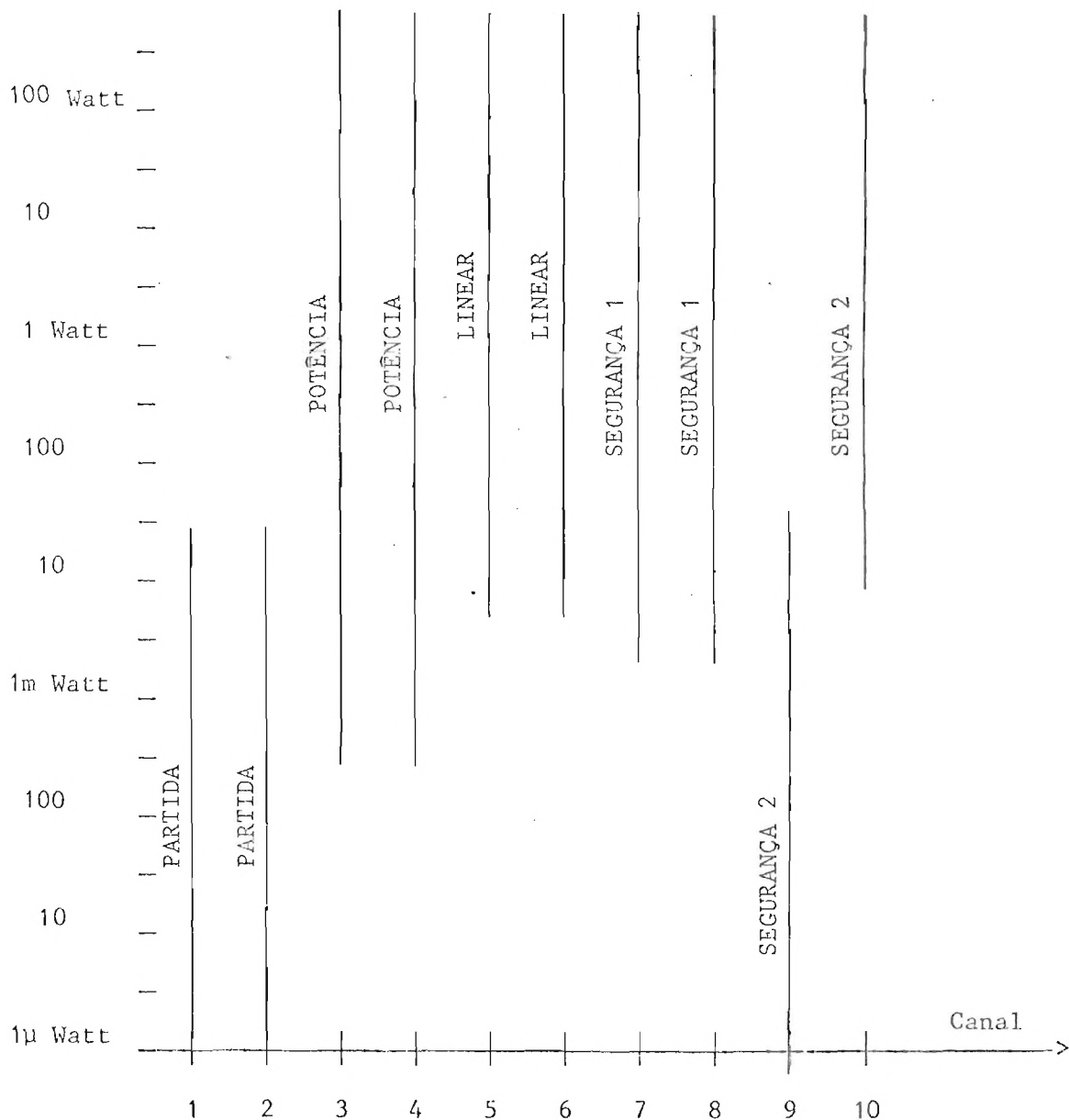
Esse sistema compreende basicamente um tanque de coleta de todos os efluentes líquidos produzidos na Célula Crítica (Tanque de Decaimento) e uma bomba

de recalque que coleta os líquidos provenientes de vazamento do próprio Tanque de Decaimento. Os líquidos coletados nesse tanque são monitorados e enviados a um ponto de acoplamento para mangueiras ou bombonas.

### INSTRUMENTAÇÃO NUCLEAR

É composto por 10 canais que utilizam detectores de neutrons do tipo  $\text{BF}_3$ , C.I. e CIC, assim distribuídos:

2 Canais de Partida	$\text{BF}_3$
2 Canais de Potência	CIC
2 Canais Lineares	CIC
2 Canais de Segurança 1	C.I.
2 Canais de Segurança 2	$\text{BF}_3$



Faixas de Atuação dos Canais de Instrumentação Nuclear



Tabela 1. Características das Varêtas Combustíveis

Revestimento	Aço Inox AISI-304
Comprimento Total	119,4 cm
Comprimento Ativo	54,6 cm
Diâmetro Externo do Encamisamento	0,98 cm
Diâmetro Interno do Encamisamento	0,86 cm
Pastilhas Combustíveis	UO <sub>2</sub>
Diâmetro das Pastilhas Combustíveis	0,85 cm
Altura das Pastilhas Combustíveis	1,05 cm
Densidade da Pastilha	94% D.T.
Enriquecimento	4,3% em p̄so

Tabela 2. Características do 1º Conjunto Crítico

Potência Máxima	100 W
Moderador	Água leve
Combustível	UO <sub>2</sub>
Forma do combustível	Pastilhas cilíndricas encapsuladas em varetas
Seção transversal do núcleo	42 x 39 cm
Altura ativa do núcleo	54,6 cm
Número total de varetas combustíveis	680
Número total de varetas absorvedoras	48
Número de varetas absorvedoras por quadrante	12
Arranjo de varetas no núcleo	28 x 26
Espaçamento entre varetas combustíveis	1,5 cm
Reatividade total do núcleo	3160 pcm

Tabela 3. Características das Varêtas de Controle e de Segurança

Revestimento	aço inox (AISI-304L)
Comprimento	127,9 cm
Comprimento ativo	100 cm
Diâmetro externo da vareta	0,98 cm
Diâmetro interno da vareta	0,86 cm
Mola de compressão	
- Comprimento	5,45 cm
- Material	Inconel 500
Material absorvedor	
- Vareta de controle	80% Prata + 15% Índio + 5% Cádmi
- Diâmetro de barra de Ag-In-Cd	0,832 cm
- Vareta de segurança	Pó Compacto B <sub>4</sub> C
- Densidade	52% D.T.

Tabela 4. Características Nucleares do 1º Conjunto Crítico

- Fluxo Máximo à 100 Watts	
. Neutrons térmicos	= $1,0 \times 10^9$ n/cm <sup>2</sup> .s
. Neutrons rápidos	= $6,0 \times 10^9$ n/cm <sup>2</sup> .s
- Fator de Pico	2,5
- Coeficiente de Reatividade	
. $\alpha_M$ = -	6,4 pcm/°C (17°C)
-	19,3 pcm/°C (80°C)
. $\alpha_T$ = -	2,3 pcm/°C (17°C)
-	2,0 pcm/°C (80°C)
. $\alpha_V$ = -	270,6 pcm/% vazio (17°C)
-	280,7 pcm/% vazio (80°C)
- Excesso de Reatividade (Nucleo retangular)	3160 pcm

REFERÊNCIAS

Relatório de Análise de Segurança (RAS) da Unidade Crítica - IPEN-MB-1

IPEN-CNEN/SP - RESEARCH REACTORS  
IPEN/MB.1 - UNIDADE CRÍTICA

by

Hertz Pasqualetto

ABSTRACT--The present description provides the main features of the IPEN/MB.1 - Critical Facility. It consists of systems, structures and components that are necessary to safely perform experiments with fissionable materials which may be at or near criticality. The main purposes of IPEN/MB.1 are to study neutron behavior within a critical assembly, to develop and improve cores of light water moderated reactors.

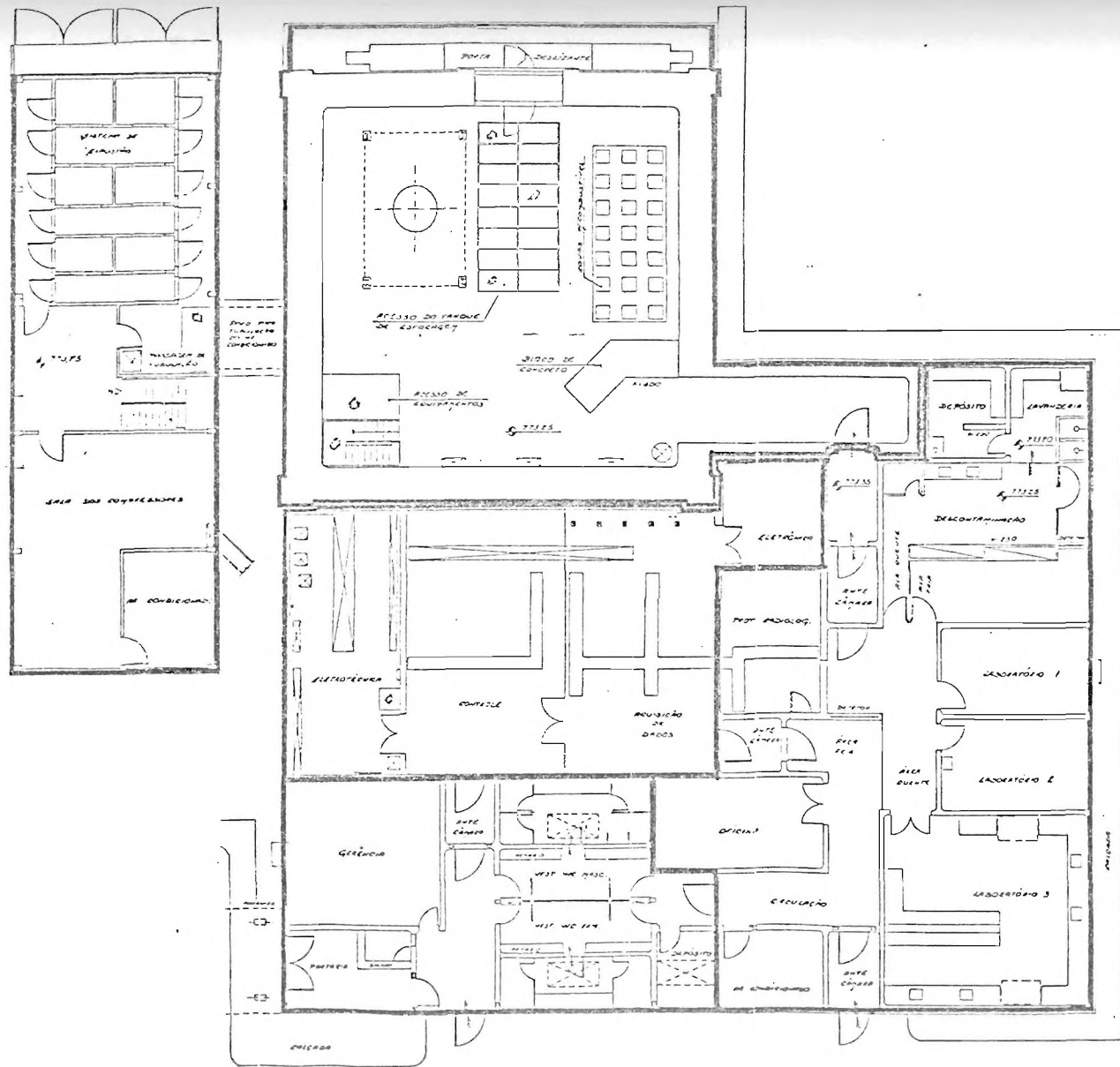
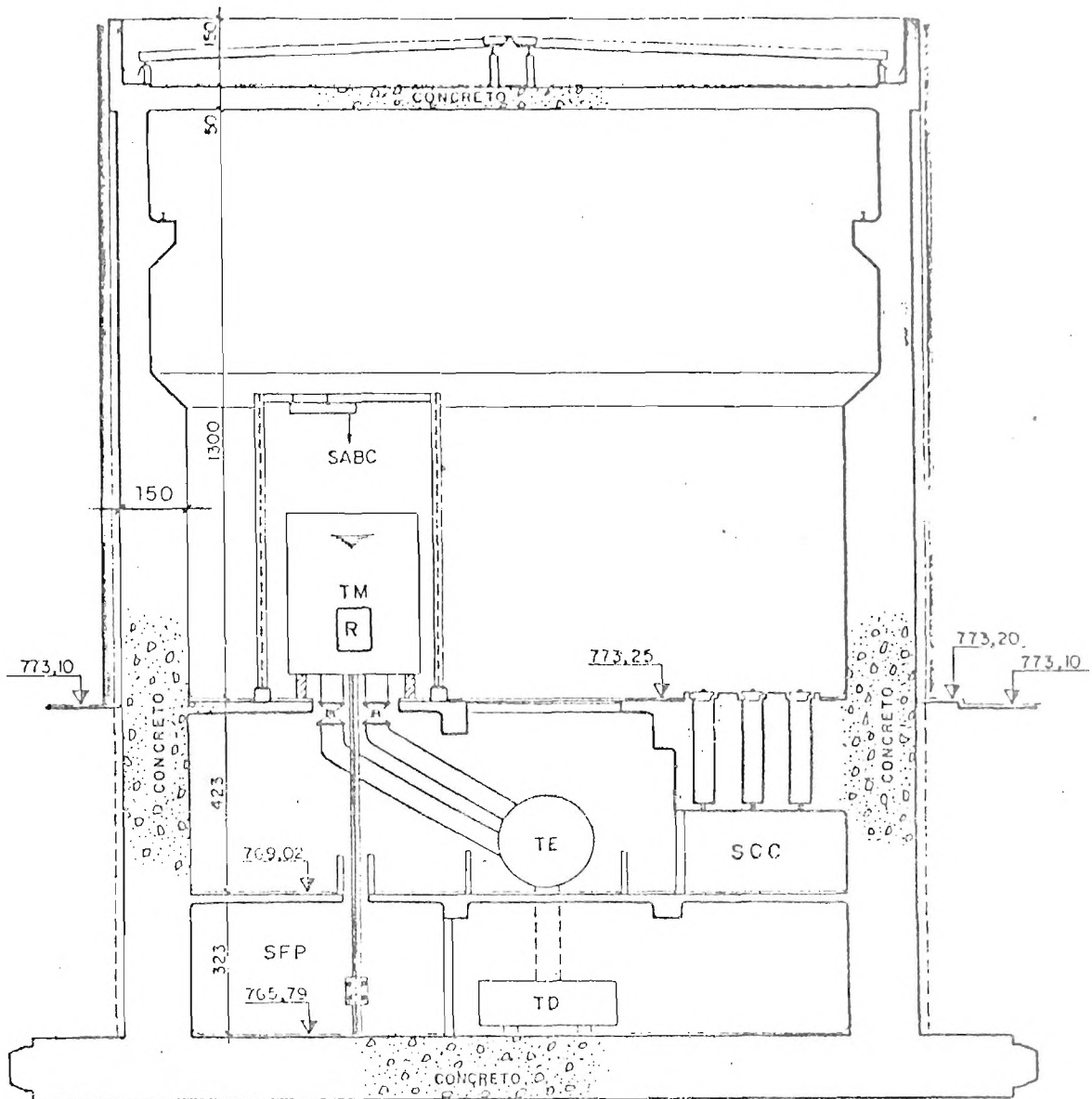


Figura 1 - Célula Crítica e Edifício de Apoio



CORTE TÍPICO

LEGENDA.

TM - TANQUE MODERADOR  
 SFP - SALA DA FONTE DE PARTIDA  
 TD - TANQUE DE DECAIMENTO  
 TE - TANQUE DE ESTOCAGEM

SABC - SISTEMA DE ACIONAMENTO DAS BARRAS DE CONTROLE  
 SCC - SALA DE COVAS DE COMBUSTÍVEIS  
 R - REATOR

Figura 2 - Prédio da Célula Crítica

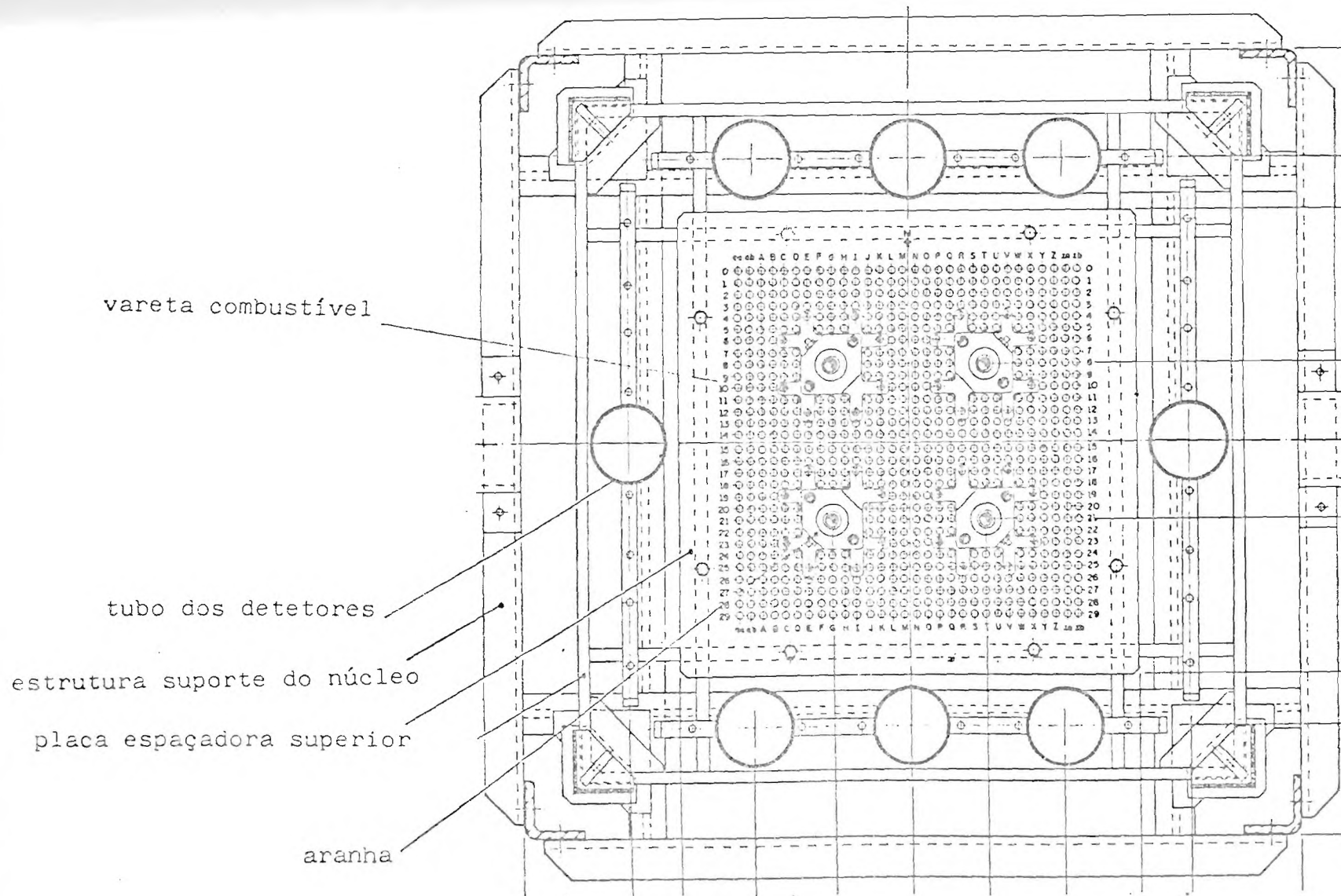


Figura 3 - Arranjo Crítico

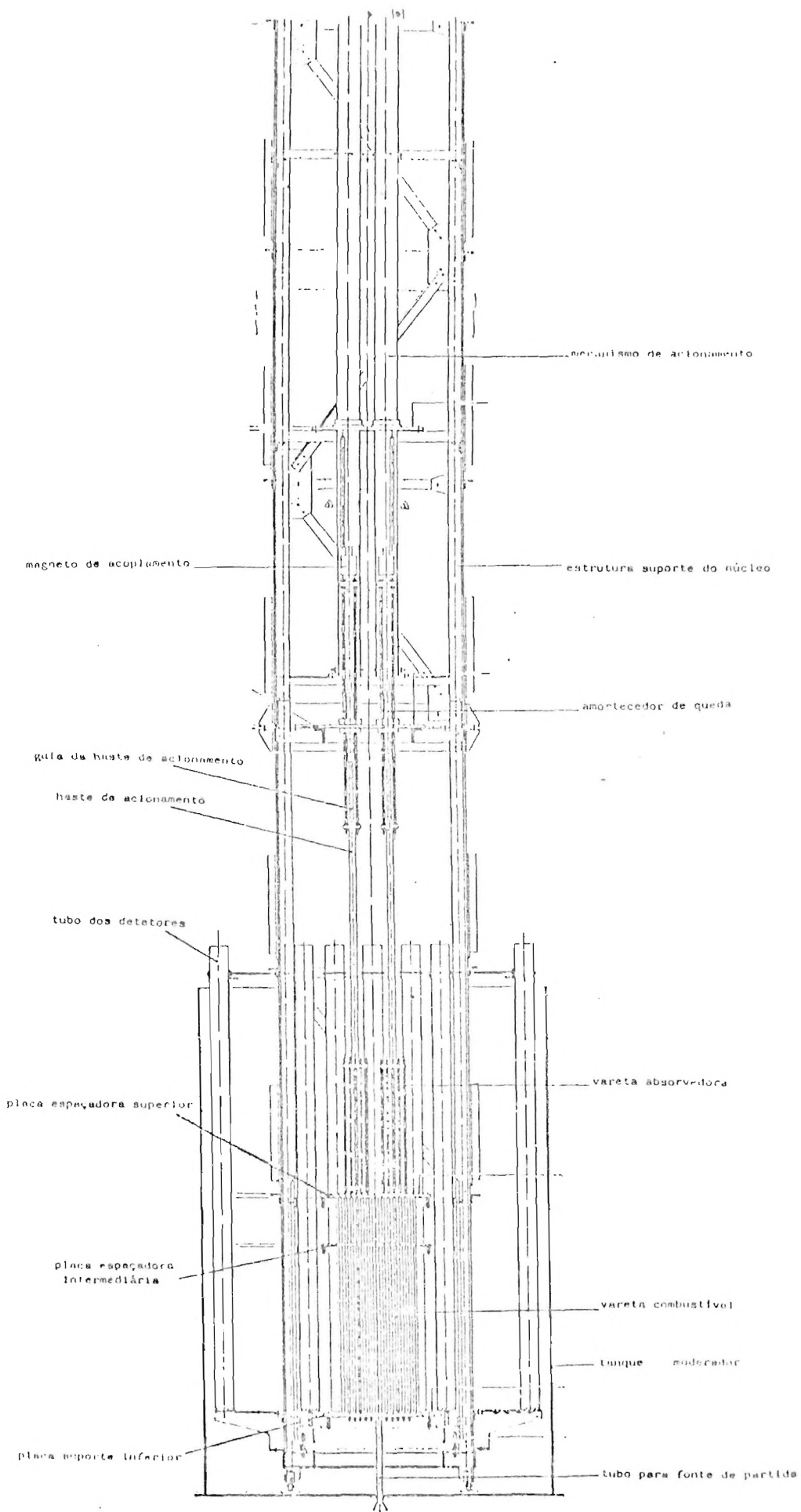


Figura 4 - Conjunto Crítico no Tanque do Moderador



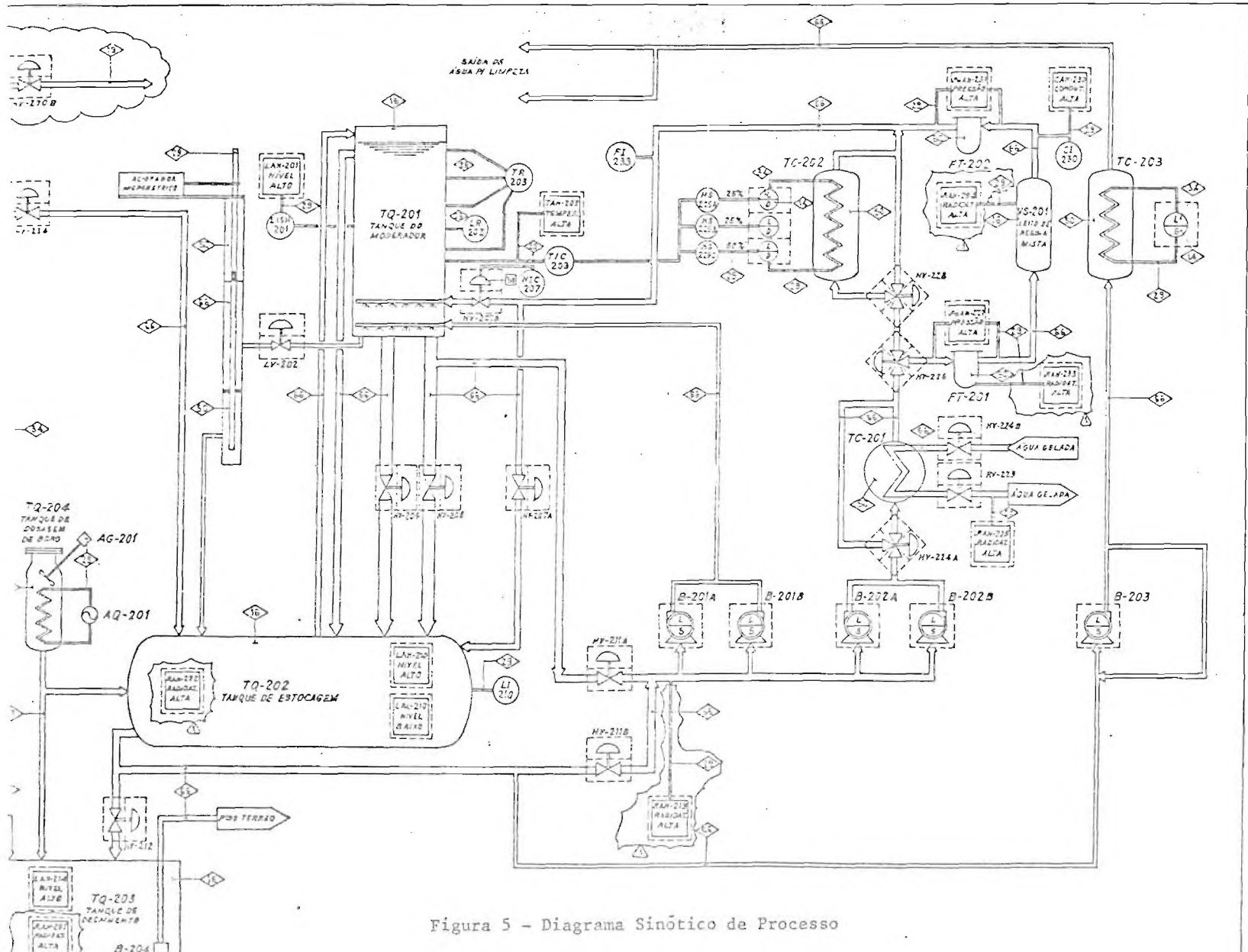


Figura 5 - Diagrama Sinótico de Processo