

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ÁREA DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO GERADO PELA INTRODUÇÃO
DO PROGRAMA NUCLEAR NO BRASIL

Engº Luiz Carlos Pereira da Conceição

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos - USP, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de "Mestre em Engenharia de
Estruturas".

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

São Carlos, dezembro de 1.984.

ACRADECIMENTOS

- Ao deputado Federal Armando Pinheiro, por ter conseguido, junto ao Ministério das Minas e Energia, o meu livre acesso nas obras que compõem a Central Nuclear "Almirante Álvaro Alberto"
- Ao Dr. Fernando Horácio da Matta, chefe da assessoria de comunicação de FURNAS, que concedeu minha hospedagem.
- Ao Eng. Carlos A. C. Mattos, chefe do Setor de Treinamentos de Angra I, pelas informações e acompanhamento às obras.
- Ao Técnico Paulo Cavalcanti da NUCON, pelas informações e acompanhamento às obras de Angra II.
- Ao Engenheiro Hamilton de Araujo Costa, pelo acesso concedido às obras de Angra II e Angra III.
- A Sérgio Roberto Felício Guimarães - adjunto de superintendente.
- A Heraclides Teixeira Filho - Gerente de construção - NUCON.
- Ao Dr. Mário Guimarães Pereira - Gerência de Contratos - NUCON.
- A Luis Fernando Gomes de Carvalho - chefe da usina.
- Ao Engenheiro Nilo do Setor de Treinamento de Angra I.
- A minha orientadora Dra. Helena M. C. Carmo Antunes, pela liberdade de escolha da pesquisa.
- A meu irmão Benedito Pereira da Conceição, pelos serviços de datilografia.

À minha esposa Rosa Maria
e aos meus filhos: Caroline,
Jaqueline e Jimmy.

RESUMO

Este trabalho, dividido em cinco partes compreendendo, Conceito do Átomo, Tipos de Reatores, Angra I, Angra II, Angra III e Ciclo do Combustível, fornece condições de entendimento do princípio da energia atômica e do método de sua utilização para geração de energia, além de dar o posicionamento das obras executadas e a executar, relativas ao Programa Nuclear implantado no Brasil.

ABSTRACT

This job is divided into five parts. These are the atom itself, types of reactors, Angra I, Angra II, and Angra III and combustible cycles, which give us the conditions of understanding the principle of atomic energy, and the method of utilization to obtain energy. Besides giving a position of what to do and what has already been done, relative to the Nuclear Program implemented in Brazil.

APRESENTAÇÃO

Fazendo parte do curso de pós graduação da Área de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, foi ministrada, durante o ano de 1.978, a disciplina "Projeto Tecnológico Integrado das Grandes Obras Civis Modernas", pelo Engenheiro Professor Dr. Wander Miranda de Camargo (in memória).

Dentre os capítulos por ele apresentado, um deles, "Vasos de Reatores", me chamou a atenção, provocou meu interesse e, a partir daí, passei a pesquisar sobre tal assunto, culminando com a apresentação do presente trabalho.

S U M Á R I O

0 DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO GERADO PELA INTRODUÇÃO DO PROGRAMA NUCLEAR NO BRASIL

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	CONCEITO DO ÁTOMO.....	3
2.1.	<u>Fissão</u>	7
2.2.	<u>Tipos de Reatores</u>	9
2.2.1.	Reatores Refrigerados a gás aperfeiçoados (A.G.R.).....	14
2.2.2.	Reatores de Água Pressurizada (P.W.R.)	15
2.2.3.	Reatores de Água Fervente (B.W.R.)....	16
2.2.4.	Reatores a Água Pesada.....	17
2.2.5.	Reator Refrigerado a Gás com Alta Temperatura.....	17
2.2.6.	Reatores Regeneradores.....	19
2.2.7.	Componentes Básicos.....	20
	a. Combustível.....	20
	b. Moderador de Neutrons.....	20
	c. Barras de Controle.....	20
	d. Sistema de transferência de calor..	20
	e. Refletor de neutrons.....	20
	f. Blindagem de proteção.....	20
	g. Painel de controle.....	20
3.	<u>ANGRA I</u>	22
3.1.	EDIFÍCIO DO REATOR.....	25
3.2.	EDIFÍCIO DE SEGURANÇA.....	26
3.3.	EDIFÍCIO DO COMBUSTÍVEL.....	26
3.4.	EDIFÍCIO AUXILIAR NORTE.....	27
3.5.	EDIFÍCIO AUXILIAR SUL.....	27
3.6.	EDIFÍCIO DO TURBO GERADOR.....	28
3.7.	ANEXO.....	30

Fig. 1 - Usina Nuclear de Angra - Planta.....	31
Fig. 2 - Usina Nuclear de Angra - Corte.....	32
Fig. 3 - Edifício do Reator de Angra I.....	33
Fig. 4 - Vista Geral de Angra I.....	34
Fig. 5 - Vista Geral da Praia de Itaorna....	35
Fig. 6 - Vista Geral da Praia de Itaorna....	36
Fig. 7 - Vista Geral da Central Nuclear "Almirante Alvaro Alberto".....	37
Fig. 8 - Galeria para captação de água de refrigeração.....	38
4. ANGRA II e ANGRA III.....	39
4.1. DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS PRINCIPAIS.....	40
4.1.1. Edifício do Reator (UJA=UJB).....	40
4.1.2. Edifício Auxiliar do Reator (UKA).....	40
4.1.3. Edifício de Água de Alimentação de Emergência (ULB).....	40
4.1.4. Edifício Grupo Diesel de Emergência e de Água Fria(UBP).....	41
4.1.5. Edifício do Turbo Gerador (UMA).....	41
4.2. ANEXO.....	47
Fig. 9 - Camisas de Aço utilizadas no estanqueamento da Unidade II.....	48
Fig. 10 A e B - Serviços de impermeabilização da unidade II.....	49
Fig. 11 - Lona de circo.....	50
Fig. 12 - Inflável.....	50
Fig. 13 - Inflável e Lona de circo.....	51
Fig. 14 - Comparação entre os Edifícios do Reator de Angra I e Angra II.....	52
Fig. 15 - Edifício Auxiliar do Reator - UKA...	53
Fig. 16 - Edifício de Controle - UBA.....	53
Fig. 17 - Organograma.....	54
Fig. 18 - Arranjo Geral da C.N.A.A. Central Nuclear "Almirante Álvaro Alberto"..	55

Fig. 19 - Arranjo Geral da Unidade II.....	56
Fig. 20 - Envoltório de Contenção Angra 2 e 3.	57
Fig. 21 A e 21 B - Envoltório de Aço - Construções internas.....	58
Fig. 22 A e B - Envoltório de Aço - Parede Cilíndrica Interna.....	59
Fig. 23 - Apoio do Envoltório de Aço Sobre o - Envoltório de Concreto.....	60
Fig. 24 - Nível das Obras.....	60
Fig. 25 - Proporção entre a Galeria Circundante e o Envoltório.....	61
Fig. 26 - Vista Externa da Escotilha.....	62
Fig. 27 - Vista Interna da Escotilha.....	62
Fig. 28 - Proporção entre Entrada tipo Escotilha e o Envoltório.....	63
Fig. 29 - Apoio Cilindrico.....	64
Fig. 30 - Suporte Guia.....	64
Fig. 31 - Início da Montagem do Envoltório....	65
Fig. 32 - Envoltório de Aço - croquis nº 1....	66
Fig. 33 - Envoltório de Aço - croquis nº 2....	67
Fig. 34 - Envoltório de Aço - croquis nº 3....	68
Fig. 35 - Envoltório de Aço - croquis nº 4....	69
Fig. 36 - Envoltório de Aço - croquis nº 5....	70
Fig. 37 A e B - Construção do Molhe de Proteção.....	71
Fig. 38 A e B - Escavações da Unidade III.....	72
Fig. 39 A e B - Escavações da Unidade III.....	73
5. <u>ENVOLTÓRIO DE AÇO</u>	74
5.1. ANEXO.....	80
Fig. 40 - Chapas Recém-D Descarregadas.....	81
Fig. 41 - Vista Geral do Canteiro de Pré-Montagem.....	81
Fig. 42 A e B - Verificações das Dimensões das Chapas.....	82

Fig. 43 - Painel de Controle do Sistema de Aspiradores.....	83
Fig. 44 - Reservatório de Ar.....	83
Fig. 45 A e B. - Instalações para Separação do Material de Jateamento.....	84
Fig. 46 - Sistema de Compressores.....	85
Fig. 47 - Salão de Pintura de Chapas.....	85
Fig. 48 - Chapas Soldadas.....	86
Fig. 49 - Chapas Pintadas.....	86
Fig. 50 - União das Chapas para Soldagem....	87
Fig. 51 A e B - Soldagem.....	88
Fig. 52 A e B - Soldagem.....	89
Fig. 53 - Protocolo de Soldagem.....	90
Fig. 54 - Protocolo de Soldagem - Folha Adicional.....	91
Fig. 55 A e B - Controle da Solda.....	92
Fig. 56 - Gabarito para Transporte.....	93
Fig. 57 - Guindaste.....	93
Fig. 58 - Esmerilamento.....	94
Fig. 59 - Chapas Prontas.....	94
Fig. 60 A e B. - Chapas Soldadas.....	95
Fig. 61 - Proporção entre a Chapa e o Envol- tório.....	96
6. <u>O CICLO DO COMBUSTÍVEL</u>	97
6.1. PROSPECÇÃO E PESQUISA DE MINÉRIOS DE URÂNIO....	98
6.2. ENGENHARIA MINERAL.....	99
6.3. COMPLEXO MINERO-INDUSTRIAL - BENEFICIAMENTO... 99	
6.4. COMPLEXO INDUSTRIAL DE RESENDE.....	100
6.4.1. <u>Usina de Conversão</u>	100
6.4.2. <u>Usina de Enriquecimento</u>	100
6.4.3. <u>Fábrica de Elementos Combustível</u>	100
6.4.4. <u>Usina de Reprocessamento</u>	101
6.5. ANEXO.....	104
Fig. 62 - Organização e Atribuições do Se-	

	tor Nuclear.....	105
Fig. 63	- Reservas Geológicas de Urânio.....	106
Fig. 64	- Localização das Jazidas de Urânio - no Brasil.....	107
Fig. 65	- A Mina Osamu Utsumi - Poços de Cal- das.....	108
Fig. 66 A,B e C	- Vista Parcial das Unidades- de Apoio a Usina de Polos de Caldas	109
Fig. 67	- Vista Geral da Usina de Poços de - Caldas.....	110
Fig. 68	- "Yellow Cake" - filtragem.....	111
Fig. 69	- "Yellow Cake" - embalagem.....	111
Fig. 70	- Vista Geral da Fábrica de Elementos Combustíveis - Resende-RJ.....	112
Fig. 71	- Elemento Combustível.....	113
Fig. 72	- Tubos de Elementos Combustível.....	113
Fig. 73	- Estágios da Fabricação do Elemento- Combustível.....	114
7.	<u>CONCLUSÃO</u>	115
8.	<u>BIBLIOGRAFIAS</u>	116

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Em qualquer estrutura, sua complexidade de quase sempre é oriunda da associação de aspectos estéticos e de funcionalidade, resultando daí, uma estrutura com determinada forma para que o engenheiro de estruturas dê condição de estabilidade e requisitos para o engenheiro construtor torná-la executável.

Após a execução de infinitas obras com a mesma funcionalidade, certamente ela recairá dentro de certos padrões básicos para o engenheiro de estruturas, a menos de um ou outro detalhe estético que será função do arquiteto que a projetou, que por sua vez, coloca como detalhe estético o estilo de determinadas épocas, o que faz também, haver sempre uma coincidência de aspectos estéticos para obras que tenham a mesma funcionalidade. O mesmo já não acontecerá com uma obra pouco comum e fará com que o engenheiro de estruturas conheça fundamentalmente o objetivo da obra nos mínimos detalhes, para garantir que o seu dimensionamento satisfaça as condições mais desfavoráveis de ocorrência, antes, durante e depois da obra executada.

A engenharia brasileira já se deparou com os mais variados tipos estruturais, algumas vezes, para concretizá-las tiveram que buscar conhecimentos no exterior.

Esta busca de conhecimentos no exterior não encontrava barreira, pois, buscava conhecimentos com um certo atraso no tempo, já difundido em todos os países desenvolvidos, de maneira que nossas dúvidas não se constituíam em segredo.

Mas hoje, a situação mudou um pouco, e estamos sincronizados no tempo e empenhados no mesmo objetivo: "A CONQUISTA DA TECNOLOGIA NUCLEAR", por isso, nossa busca em conhecimentos exteriores se tornavam infrutíferas e que mesmo comprando um reator Norte Americano para geração de energia elétrica, não adquiriríamos a tão esperada tecnologia, pois, a mesma

se constituia em segredo e impossibilitava a sua transferência.

Mas, graças ao acordo de Cooperação Nuclear celebrado em Bonn, no dia 27 de junho de 1.975, entre o Brasil e a República Federal da Alemanha, está sendo possível a aquisição destes conhecimentos pela engenharia brasileira, e sem sombra de dúvidas, mergulharemos nesse novo setor aperfeiçoando às nossas condições, os conhecimentos transmitidos pelos Alemães.

Este trabalho, além de fornecer certos conhecimentos básicos para compreensão do funcionamento de uma usina nuclear e das várias fases que envolve a obtenção do elemento principal da geração de energia que é o combustível Nuclear, visa, também, mostrar o complexo estrutural de obras inéditas construídas e em construção em solos brasileiros, gerados pela introdução no Brasil do Programa Nuclear.

Mesmo com a introdução da "Garantia de Qualidade", que aumenta em muito a segurança destas obras, ainda não foi conseguido um domínio da opinião pública na aceitação das mesmas. E cabe ao Engenheiro de Estruturas aperfeiçoar cada vez mais, os sistemas de segurança existentes, para que num futuro bem próximo, haja a aceitação geral do público em conviver com esta realidade, principalmente no Brasil, que desponta como o 5º produtor mundial de Urânio.

CONCEITO DO ÁTOMO

O átomo é a menor parte de um corpo que possui todas suas propriedades. De uma maneira geral, tudo que nos cercam são formados por átomos. O átomo tem um diâmetro em torno de 10^{-8} cm., possuindo um núcleo central e elétrons na periferia, dispostos em camadas.

O átomo é quase que exclusivamente formado por espaço vazio e a órbita do elétron, mais externa, delimita mais ou menos as suas dimensões.

O núcleo, extremamente denso, carregado com cargas positivas, possui um diâmetro que varia de 2×10^{-13} cm., no caso do hidrogênio, a aproximadamente 1×10^{-12} cm., no caso de elementos pesados, o núcleo é composto de prótons e neutrons e nele se concentra quase toda a massa do átomo, já que os elétrons são extremamente leves, se comparados com os prótons e neutrons que possuem massas relativamente iguais.

A massa de um elétron é apenas $1/1.836$ vezes a massa de um próton.

O próton possui carga positiva, e mantém os elétrons girando em órbitas em torno do núcleo em virtude dos elétrons possuírem carga igual mas, de sentido contrário.

Já os neutrons não possuem carga elétrica fazendo, portanto, com que os átomos sejam eletricamente neutros, uma vez que, a carga dos elétrons periféricos é igual a carga dos prótons contidos no núcleo.

O número de prótons é importante e identifica todos os elementos químicos existentes; é chamado de número atômico e cuja representação é feita através do símbolo Z .

Outro dado importante é o número de massa (A) que é igual a soma do número de prótons e o número de neutrons ($A = Z + n$).

Outro termo também empregado é o nuclídeo que é usado para descrever um núcleo, tendo por base o número

ro de prótons e neutrons nele contidos, os elementos cujos nuclí-
dios tem igual número de prótons, mas diferentes número de neu-
trons, são chamados isótopos.

Os elementos químicos existentes na na-
tureza são misturas de isótopos.

Na física nuclear é necessário conside-
rar cada nuclídeo isoladamente, sendo que é identificado através
da fórmula:



O urânio 238 é representado da seguinte
maneira:



que é um isótopo radioativo pois, contém um aglomerado instável
de prótons e neutrons que se desintegra espontaneamente emitindo
radiações.

Esta radioatividade foi descoberta em
1.896, pelo cientista francês Henri Becquerel, através da pro-
priedade que tinham certos minerais de impressionar um papel fo-
tográfico, mesmo estando envolto com papel preto.

Mais tarde, esta radiação penetrante
foi identificada como radiação α (alfa) e que além dela exis-
tem outros dois tipos de radiações, conhecidas como radiação β
(Beta) e radiação γ (Gama).

A radiação α não é muito penetrante e
pode ser detida por alguns centímetros de ar, já as radiações β
tem um poder de penetração maior e para detê-las, torna-se neces-
sário alguns metros de ar ou um obstáculo de papelão mais espes-
so, já para deter a radiação γ torna-se necessário muitos cen-
tímetros de metal.

Uma partícula α é o núcleo de um áto-
mo de Hélio-4 sendo formada por dois prótons e dois neutrons sen-
do, portanto, de carga elétrica positiva, e geralmente são emiti-
dos por núcleos pesados.

Em consequência da emissão α o nuclídeo que a emitiu se transforma em outro nuclídeo de número de massa 4 unidades menor e número atômico duas unidades menor.

Se o Urânio 238 (U 238) emitir uma partícula α se transformará em um elemento com número de massa igual a $238-4 = 234$ e número atômico igual a $92-2 = 90$ ou seja, transformar-se-á no Tório 234



Já as partículas β podem ser de dois tipos: os elétrons e os positrons.

O positron β^+ é obtido quando um próton se transforma num neutron, onde o nuclídeo no qual ocorreu a emissão ficará com o mesmo número de massa, mas, o número atômico (número de prótons) será reduzido de uma unidade.

O elétron negativo β^- é produzido quando um neutron se transforma num próton, neste caso, também o número de massa não se altera, mas, seu número atômico será acrescido de uma unidade.

Quando o nuclídeo emitiu uma partícula α ou β o núcleo possui uma energia em excesso que vai perdê-la emitindo raios γ , sendo que, geralmente o nuclídeo é obtido em um estado de excitação e continuará emitindo radiações até atingir seu estado normal de energia mínima.

Isto constitui um dos problemas que veremos mais adiante, que é o dos resíduos radioativos.

Existe um tempo em que o nuclídeo instável leva para atingir seu estado de estabilidade, a maneira mais conveniente para descrever a taxa, segundo a qual o material radioativo perde sua radioatividade, é fazê-lo em termos de meia vida, que é, o tempo que a radioatividade leva para reduzir à metade seu valor original. O período de meia vida, varia de apenas algumas frações de segundos, até milhões de anos, dependendo do tipo de nuclídeo, sendo constante para cada isótopo.

Há uma energia que mantém unidas as par

tículas do núcleo, que é chamada de energia de ligação, quanto maior for esta energia, maior será a estabilidade deste núcleo.

De maneira que, para quebrar o núcleo deve ser fornecida uma energia maior do que a energia de ligação do neutron ao núcleo.

Quando esta energia não for suficiente, produzirá um núcleo excitado, é o que ocorre quando o núcleo do Urânio 238 (U 238), é bombardeado por neutrons com energia inferiores a 1,1 M e V (milhões de elétrons volts), unidade de energia usada em física nuclear, produzindo um núcleo excitado de Urânio 239, que decai para produzir o importante nuclídeo de Plutônio 239.

Para calcular a energia de ligação, usa-se a relação de Einstein entre massa e energia $E = mc^2$, sendo E a energia correspondente à massa m , e c uma constante que corresponde à velocidade da luz no vácuo (3×10^{10} cm/s). Se substituímos o "m" da equação de Einstein, colocando em seu lugar a deficiência de massa que é verificada ao se medir a massa de cada um dos componentes de um núcleo e sua massa total, verifica-se que a massa do núcleo é inferior à adição das massas de cada um dos seus componentes. O que demonstra claramente que parte da massa dos componentes desaparece, sendo transformada em energia (energia de ligação). Esta energia é expressa em MeV (milhões de elétrons volts).

Sendo as partículas nucleares muito pequenas, tornou-se necessário adotar uma unidade para expressá-la foi criada a u.m.a (unidade de massa atômica), tendo sido tomados como referências, primeiramente, a massa do hidrogênio, posteriormente, 1/16 da massa do Oxigênio 16, e, finalmente, nos dias atuais, 1/12 da massa do carbono 12.

O valor de uma unidade de massa atômica é $1,66 \times 10^{-24}$ gramas.

Da mesma forma, também se define o elétron-volt (ev) que corresponde a energia de um elétron acelerado

num campo elétrico, pela diferença de potencial de 1 volt.

E' , para nossa realidade, uma quantidade de muito pequena de energia, sendo, porém, imenso para uma partícula isolada.

Se no Sistema C.G.S. 1 erg é a energia necessária para animar com uma velocidade de 1 cm/segum corpo de 2 g. de massa, desta maneira,

$$1 \text{ u.m.a.} = 1,49 \times 10^{-3} \text{ erg}$$

$$1 \text{ M e V} = 1,60 \times 10^{-6} \text{ erg}$$

$$1 \text{ u.m.a.} = 931 \text{ M e V.}$$

FISSÃO

A fissão acontece quando um núcleo de urânio 235 é atingido por um neutron, o núcleo se divide em dois núcleos de pesos atômicos aproximados e libera uma grande quantidade de energia (em torno de 200 M e V).

Para que a fissão ocorra é preciso bombardear o núcleo com uma energia superior a energia de ligação.

Não teria importância alguma a fissão como fonte de energia, se não fosse o fato de que, o núcleo atingido, além de liberar energia, emite também, dois ou três neutrons no momento em que se desintegra e que esses novos neutrons podem penetrar em outros núcleos provocando novas fissões com consequente liberação de energia e mais, a liberação de novos neutrons, produzindo assim, uma reação em cadeia auto-sustentada.

A competição num reator nuclear, entre o número de núcleos fissionados numa geração de neutrons e o número de fissões da geração imediatamente anterior, é definida pelo chamado fator de multiplicação K . Quando o fator de multiplicação é menor do que um ($K < 1$), então o sistema é dito convergente, isto é, o número de fissões produzidas numa geração é menor do que o número de fissões produzidas na geração anterior, indica que houve uma diminuição do número de núcleos fissionados o que acarreta a não auto sustentação da reação.

Quando $K = 1$, o processo de fissão atin

ge o equilíbrio, e está no ponto crítico, isto é, o número de fissões de uma geração é exatamente igual ao da geração anterior e se mantém constante ao longo do tempo, o sistema atingiu, então, o estado de auto-sustentação.

Quando $K > 1$ a reação é divergente, isto é, o número de fissão numa geração é maior do que o número de fissões produzidas na geração anterior, portanto, o número de fissões aumenta por unidade de tempo, o reator atinge um estado supercrítico, é o que ocorre com a bomba atômica.

Devemos ressaltar que, embora em cada fissão de U-235 por um neutron ocorra liberação de dois a três neutrons, uma grande parte destes neutrons não produz fissão, pois, são capturados pelo U-238, que constitui 99,3% do urânio natural presente, outros neutrons são absorvidos pelos produtos de fissão que vão se formando, assim como, por impurezas ou por outros componentes do sistema, além das perdas provocadas pela migração de neutrons através da superfície do aparelho. Outro fator a ser considerado é o da secção de choque de fissão, que está ligada à maior ou menor probabilidade do neutron atingir o núcleo do urânio e produzir a sua fissão. O urânio 235, apresenta baixa secção de choque de fissão em relação aos neutrons muito energéticos emitidos na fissão, enquanto o U-238, tem secção de choque de captura de neutrons muito energéticos bastante elevada.

O mesmo não acontece quando os neutrons são moderados até se transformarem em neutrons térmicos que são aqueles que possuem energia em torno de 0,025 eV e pequena velocidade, neste caso o número de fissões aumenta e o número de captura pelo urânio-238 diminui. Portanto, torna-se importante misturar o urânio a uma substância chamada moderador, capaz de transformar os neutrons muito energéticos, em neutrons térmicos.

Foi usado com sucesso o grafite como moderador, e nas experiências realizadas, o urânio era mantido em forma de barra entre blocos de grafite formando pilhas, daí o nome de Pilha Atômica, que também se dá aos reatores nucleares.

Com o uso do grafite como moderador, o rendimento da fissão foi aumentado e conseqüentemente possibilitou o alcance da reação auto sustentada ($K = 1$).

Há então, duas maneiras de construir um reator, ou os neutrons velozes são transformados em lentos, ou, se aumenta a proporção de átomos físséis.

Outro fator que também influi na auto-sustentação da reação é a perda de neutrons devido à fuga ou migrações para fora da superfície externa do reator, o que torna importante a relação entre o volume e a superfície externa do reator "caroço" onde ocorre a fissão.

Como o volume varia em função da Terceira potência do raio e a superfície em função do quadrado do raio então, a perda relativa de neutrons por fuga diminui com o aumento do volume do recipiente ou vaso de fissão.

Para determinada concentração de U-235 e arranjo do moderador, existe um volume crítico no sistema para o qual $K = 1$. Este volume, é o tamanho ou dimensão crítica ou massa crítica do reator. Para volumes inferiores ao tamanho crítico, a fuga de neutrons determina uma queda no fator de multiplicação ($K < 1$) e o reator permanece subcrítico. Para um volume maior do que o crítico a reação é divergente, embora através das barras de controle, possa ser ajustada para $K = 1$.

TIPOS DE REATORES

O início da construção do primeiro reator, ocorreu em Novembro de 1.941. Era um plano secreto denominado do projeto "URÂNIO", construído na Universidade de Chicago, também denominado CP-1 (Chicago Pile). Foi executado por Fermi e seus colaboradores da Universidade de Columbia, aos quais se juntaram outros físicos e engenheiros.

Para a construção foram utilizadas 40 toneladas de Urânio, sendo 6 toneladas em forma metálica; era uma pilha de tijolos de grafite, dispostos em camadas superpostas em algum dos blocos em camadas alternadas, tinham sido abertos -

orifícios e abrigaram vinte mil cilindros de urânio metálico e óxido de urânio, sendo que de grafite haviam 393 toneladas e que funcionavam como moderador e mais 92 toneladas que funcionavam como refletor, impedindo a fuga de neutrons, além destes materiais, haviam as barras de controle e muitos dispositivos automáticos de segurança.

Inicialmente, uma fonte de rádio-berílio fornecia os neutrons necessários ao início da reação de fissão do Urânio-235, sendo que nesta primeira fase o processo de fissão teria o fator de multiplicação $K > 1$, aumentando os átomos fissionados de U-235, por unidade de tempo, sendo que a reação em cadeia iria aumentando de intensidade até atingir o nível de potência planejado, e com o auxílio das barras de controle, colocar-se-ia o reator no ponto crítico para que o sistema atingisse o estado de auto sustentação.

Estas barras de controle eram constituídas por metais de secção de choque de absorção de neutrons muito alta e que eram introduzidos no interior do reator (pilha) até a profundidade conveniente, sua função era a de retirar os neutrons excedentes de circulação e permitir somente o fluxo de neutrons necessários para manter a reação com um fator de multiplicação $K = 1$, estas barras de controle eram constituídas pelo metal Cádmiu que é um ótimo absorvedor de neutrons.

Para desligar o reator, basta somente introduzir mais barras de controle no interior do mesmo, que devido a absorção dos neutrons tornam o fator de multiplicação $K < 1$ e conseqüentemente impossibilita a continuidade da reação.

Com essa experiência, realizada no dia 02 de dezembro de 1.942, Enrico Fermi, um físico italiano radicado nos Estados Unidos, havia realizado a primeira libertação e controle simultâneo da energia do átomo.

Estando o mundo, nessa época, em plena segunda guerra mundial, o resultado dessa experiência, não deixava a menor dúvida, que seria sua utilização para fabricação de

explosivo de grande potência e que para isto, bastava somente, utilizar um recipiente com dimensão crítica e deixar livre a reação.

E foi o que exatamente aconteceu, no dia 16 de julho de 1.945, uma bomba experimental de plutônio explodiu em Los Alamos, Novo México, foi a primeira explosão nuclear.

Em seguida, uma bomba de Urânio-235, foi lançada em Hiroshima, Japão, no dia 9 de agosto de 1.945, e a segunda de Plutônio, sobre Nagasaki, também Japão.

Se a reação em cadeia for deixada livre, torna-se explosiva, pois, a energia liberada a cada fenômeno de fissão é, aproximadamente, de 200 M e V. Porém, quando a reação em cadeia é controlada, com o auxílio de elementos que capturam o excesso de neutrons, permitindo uma reação auto-sustentada contínua, o valor originado pode ser utilizado através de transformação em energia elétrica ou mecânica, é o que acontece nos reaçtores nucleares de potência, que fornecem energia elétrica obtida do calor gerado pelo reator.

Como vimos, na experiência realizada por Fermi, houve o aparecimento de certos materiais e sistemas que serão comumente usados daqui para frente, os quais, serão aperfeiçoados pela utilização de novos sistemas e novos materiais.

Como combustível, utiliza-se Urânio ou Plutônio, cuja concentração depende do arranjo e de outros componentes do reator, geralmente, na sua composição básica encontrada na natureza, ou seja, 0,7% de U-235, ou em certos casos, será feito o enriquecimento que é um processo pelo qual são acrescentados o número de átomos do U-235; a forma para sua utilização poderá ser a metálica ou em ligas, ou sob a forma de compostos como óxidos ou até mesmo em solução, sendo também, utilizada em alguns casos, combustível como uma mistura de Urânio e Plutônio.

Como moderador de neutrons, além do Gra

fite, utiliza-se a água pesada, berílio e também a água comum, sendo que para esta, é necessário que o combustível seja urânio enriquecido ou plutônio. Já para as barras de controle serão utilizados metais de alta seção de choque que é uma área imaginária associada a cada núcleo e quanto maior a seção de choque, maior será a probabilidade de que os neutrons atinjam o núcleo, esses metais componentes das barras podem ser cádmio, boro, európeu, etc., lembrando que a função das barras é o de controle do fator de multiplicação K dos neutrons, elas que aumentam, diminuem ou paralizam a reação.

As enormes quantidades de calor gerada no reator são retirados, mediante um sistema de transferência de calor que é denominado sistema primário que pode ser um líquido ou um gás, que atravessa os espaços vazios existentes nas barras que contém o combustível, retirando dali, o calor gerado na fissão e transferindo-o para fora do recipiente do reator, até um outro sistema secundário de refrigeração.

Neste segundo sistema os líquidos ou gases recebem um resfriamento e novamente retornam ao interior do recipiente do reator, retirando novamente dali o calor gerado num processo contínuo.

Para impedir a fuga dos neutrons do recipiente, são introduzidos na região onde se processa a reação, os refletores de neutrons constituídos de grafite, água pesada, berílio e água comum, que impedindo a fuga dos neutrons, contribuem para se alcançar a auto sustentação mantendo o fator de multiplicação $K = 1$, esses materiais podem ser utilizados nas paredes do recipiente e com a sua utilização dão um aumento do rendimento da reação e conseqüentemente uma diminuição do tamanho e da massa crítica do reator.

Mesmo com a colocação de materiais moderadores e refletores é grande a radiação que se manifesta nas proximidades do reator o que torna necessário uma blindagem de aço e ou concretos especiais para oferecer uma segurança para os

operadores, como também, para o pessoal da região onde o mesmo se localiza.

Esta blindagem deve ser diretamente proporcional à potência máxima do reator.

Como nas proximidades do reator existe uma região de radiação, o controle de toda a reação deverá ser feita em um painel de controle situado a uma distância onde a radiação se mantém num nível tolerável, tanto para proteção dos operadores, como também, para que não interfiram nos aparelhos danificando-os. Neste painel, os operadores utilizando-se de chaves, registros, botões, medidores de radiação, alavancas e outros instrumentos, manejam, controlam, registram, testam, corrigem todos os acontecimentos durante o funcionamento do reator e é também, deste painel, que exercem o comando das barras de controle e de todos os dispositivos de segurança do reator.

Cada novo reator que se constróiterá, necessariamente, uma melhoria em relação ao anterior, que embora exista o sigilo em torno de tais projetos, mas que sempre são difundidas as inovações que se fazem necessárias.

Esta indústria de reatores está sempre em rápida e permanente evolução, sendo sempre, as inovações voltadas para melhoria do sistema de segurança, como também, para obtenção de maior rendimento.

A primeira usina nuclear para geração de energia elétrica, foi construída em Calder Hall, Cumberland, Inglaterra, no ano de 1.956, utilizara um conjunto de quatro reatores, refrigerados a gás, sua produção elétrica era de 180 MW - (megawatts), sendo que a partir daí, os novos reatores passaram por notáveis aperfeiçoamentos.

Seu combustível era constituído de Urânio natural embalados em caixas feitas com uma liga de Magnésio chamada Magnox, de onde se derivou o nome para estes tipos de reatores, como moderador utilizaram a grafita e tinha a forma de uma retícula quadrada de tijolos, atravessada por canais verti -

cais, nos quais eram empilhados as barras de combustível juntamente com algumas barras de controle feitas de aço e boro.

O gás, utilizado como refrigerador era o dióxido de carbono, que fluía através dos canais e sobre o material combustível. Uma outra usina, também construída na Inglaterra, a Hinkley Point, possui 36.000 elementos de combustível colocados em 500 canais, perfazendo um total de 376 toneladas de urânio. O gás refrigerador flui através do núcleo do reator, formando um ciclo numa taxa de aproximadamente 5 toneladas por segundo, e é o mandado de volta ao reator através de potentes ventiladores. O núcleo deste reator é circundado por um refletor de grafite que faz retroceder uma grande parte dos neutrons que escapam do reator.

O gás que absorve o calor do reator a uma temperatura entre 350° C e 400° C é utilizado para produzir vapor em um outro sistema, antes de ser mandado de volta ao núcleo dos reatores pelos ventiladores.

Existe uma blindagem de concreto ao redor do reator já não acontecendo o mesmo com o permutador de calor, porque o gás utilizado (dióxido de carbono), não sofre radiação embora passe pelo núcleo do reator.

REATORES REFRIGERADOS A GÁS APERFEIÇOADOS (A.G.R.)

A busca de maiores aperfeiçoamentos para se conseguir, além de uma maior segurança, como também aumentar a eficiência térmica extraíndo mais calor do combustível e sempre com a finalidade voltada para diminuição do capital empregado e redução dos custos operacionais, levaram a construção de reator avançado, refrigerado a gás, sua diferença com os reatores magnox, estava no fato da utilização como combustível do dióxido de urânio cerâmico, embalado em aço inoxidável, estando o combustível na forma de um óxido, o conteúdo de U-235, é ligeiramente aumentado, sendo que o elemento refrigerador e o moderador

são do mesmo tipo usado nas centrais elétricas magnox.

Um reator deste tipo, foi construído no ano de 1.962, em Windscale, Inglaterra, com uma pequena potência de 33 MW(e), tendo como único objetivo, provar a satisfatoriedade da utilização do dióxido de urânio cerâmico, como combustível e ter mais eficiência que os reatores Magnox.

Além da Inglaterra, a França também, desenvolveu tipos de reatores refrigerados a gás, embora com um ritmo mais lento do que os ingleses. A inovação conseguida pelos franceses neste campo, foi a utilização de recipientes de pressão feitos de concreto pré-comprimido.

REATORES DE ÁGUA PRESSURIZADA (P.W.R.)

Nesse tipo de reator, o elemento refrigerador usado é a água comum, depois de passar por um processo de desmineralização, como será aquecida a altas temperaturas, em torno de 500° C., para que não ferva é utilizada sob pressão, em torno de 150 atmosferas.

Como a água está em contato com o núcleo e atinge uma temperatura elevada, através do permutador de calor, faz ferver uma outra água em um circuito secundário, obtendo desta forma, o vapor que é conduzido até as turbinas para geração de energia.

O combustível utilizado é o óxido de urânio enriquecido em forma de pastilha, que são colocados dentro de tubos de zircônio, com comprimento que atingem o núcleo do reator.

E' utilizado o zircônio, devido a sua alta resistência a corrosão por água quente.

Os tubos são dispostos de tal forma que, um conjunto deles irão formar um elemento combustível. Os espaços entre os tubos, bem como o espaço entre os elementos devem ser bem reduzidos uma vez que, a água funciona como moderador.

Para se ter segurança com este tipo de reator, que fica sujeito a altas pressões, é necessário que seu recipiente seja construído de aço bem espesso.

Ele é bem mais compacto comparado em potência, com reator de água fervente ou reator a gás.

Para este tipo é necessário que haja uma blindagem também sobre os permutadores de calor, pois, a água proveniente do núcleo é radioativa.

Suas barras de controles são inseridas em espaços destinados para tal, em cada elemento de combustível, e são feitas de uma liga de prata-índio-cádmio. Sua funcionalidade, além de desligar o reator é o de controlar o fator de multiplicação do reator, ficando numa posição que permite a auto sustentação da reação em cadeia.

Para o reabastecimento, substituiu-se apenas um terço das barras e distribuiu-se as demais.

REATORES A ÁGUA FERVENTE (B.W.R.)

Nos reatores a água pressurizada, a água em contato direto com o reator, serve para aquecer outra água e produzir vapor em um outro circuito, Já nos reatores a água fervente, a água que está em contato direto com o reator é a que vai produzir vapor e vai direta da parte superior do reator para os turbogeradores, não possuindo, portanto, os permutadores de calor sendo por isso, mais simples, inclusive por não estar a água sobre pressão, possibilita paredes mais delgadas para o recipiente.

O problema surgido com os (B.W.R.) era devido as bolhas que se formavam no interior do reator, dificultando a transferência do calor obtido do combustível e modificando, também, as propriedades do moderador.

Como combustível, também era utilizado óxido de urânio enriquecido.

REATORES A ÁGUA PESADA

Um dos reatores utilizando água pesada foi construído em Winfrith, Inglaterra, com uma capacidade de 100 MW., como elemento refrigerador, usa a água comum, fazendo-a ferver nos tubos de pressão e mandando, parte dela, para as turbinas. Uma das características deste reator é que a água pesada é um moderador melhor que a água leve (comum), uma vez que, absorve menos neutrons e permite que eles se movimentem mais tempo. Em função deste pouco poder absorvente, os elementos de combustíveis, não necessitam que sua colocação seja praticamente colado a outros elementos, permitindo um espaçamento maior, o que possibilita, também que o núcleo seja menos compacto.

Alguns outros reatores de água pesada, também, foram construídos na França, Checoslováquia e Alemanha, com a diferença no refrigerador, que para estes casos foram utilizados dióxido de carbono.

REATOR REFRIGERADO A GÁS COM ALTA TEMPERATURA

Também se trata de um reator térmico - (que usa moderador). Este reator apresenta um núcleo pequeno, mas com alta densidade de potência (quantidade de calor por unidade de volume do núcleo). Um dos primeiros reatores deste tipo, foi construído na Inglaterra e usou como gás refrigerador o hélio que saía do núcleo com uma temperatura em torno de 700° C. Este reator, se destinava, apenas, a pesquisa. Neste caso o seu objetivo principal era fornecer uma fonte de neutrons ou emitir apenas as radiações para que os cientistas pudessem utilizá-las em suas experiências.

Como consequência da mudança de funcionalidade, a estrutura fundamental de um reator de pesquisa, difere grandemente dos reatores de energia.

Um tipo comum de reator de pesquisa é o reator piscina, ele tem uma piscina muito profunda, na qual a

água age como elemento refrigerador, elemento moderador e também como um dispositivo de proteção. Um outro tipo, também, comum de reator de pesquisa é o reator-reservatório, o qual difere do reator piscina, devido ao fato que suas dimensões acomodam exatamente o núcleo do reator. A maioria dos reatores de pesquisas, são reatores rápidos, ou seja, são desprovidos de moderador para diminuir a velocidade dos neutrons.

Usam como combustível o urânio consideravelmente enriquecido de átomos físséis, seja com o U-235 ou Plutônio 239. Para diminuição dos neutrons durante a operação, e como o núcleo tem pequena dimensão, são colocados Urânio-238, revestindo as paredes do núcleo que quando capturam neutrons se transformam em plutônio-239. Desta maneira, enquanto o reator consome a carga normal de combustível, mais combustível são criados pela absorção pelos revestimentos das paredes, e reenviadas ao interior do núcleo.

Como nesses reatores são produzidos grandes quantidades de calor, o problema encontrado é conseguir material que resista a este calor provocado no núcleo, como também, de um material adequado para transferir o calor gerado em seu interior.

Um outro problema é o consumo de combustível, devido a forte emissão de calor, um reator rápido, realiza num mês tantas fissões que um reator término levaria em vários anos.

Para os reatores de pesquisas, ao invés de termos um duto para transportar o calor gerado no núcleo, teremos que ter um dispositivo para levar os neutrons para um local, longe do núcleo, que permita a operação pelos pesquisadores.

Neste local, como também há o perigo da radiação, é feita uma blindagem com uma abertura e dispositivos especiais que permitam o manuseio, por parte dos pesquisadores, sem o seu contacto direto.

REATORES REGENERADORES

Um outro tipo de reator é o reator conversor ou Breeder.

Os primeiros deste tipo, são os de Oak Ridge e de Hanford, que possuem a particularidade de regenerar núcleos físséis Pu-239 ou U-233, a partir do bombardeio, por neutrons, de núcleos físséis U-238 e Th-232. Os tubos dos elementos combustionados são removidos do interior do reator depois de usados, e deles são extraídos os isotopos físséis gerados.

Existe outros tipos mais modernos, mas, em fase de experiência.

Como vimos, todos os reatores existentes desde o primeiro, construído em Calder Hall, Inglaterra, até os mais aperfeiçoados em construção, possuem uma série de componentes básicos fundamentais:

1. COMBUSTÍVEL - até hoje foram utilizados urânio natural, urânio enriquecido, Plutônio e do urânio foram utilizados ou sob a forma metálica ou de ligas e também, com óxido ou mesmo solução, existem reatores que utilizam urânio e plutônio.
2. MODERADOR DE NEUTRONS - inicialmente foi utilizado grafite, posteriormente, foi utilizado água pesada, berílio e água comum.
3. BARRAS DE CONTROLE - cádmio, boro, europeu, etc.
4. SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR - utilizado quando os reatores possuem ciclo indireto, consiste num sistema capaz de transferir o calor gerado dentro do reator, até um outro sistema secundário, para geração de vapor.
5. REFLETOR DE NEUTRONS - grafite, água pesada, berílio, água comum, esses materiais são colocados revestindo as paredes do reator, impossibilitando a fuga de neutrons necessários para aumentar a eficiência do reator.
6. BLINDAGEM DE PROTEÇÃO - o revestimento das paredes é incapaz de proteger a região próxima do reator, que ficaria exposta a um alto índice de radiação, torna-se, portanto, necessária uma proteção mais eficaz, que é conseguida através de uma blindagem de aço e ou concretos especiais, cuja dimensão deverá ser diretamente proporcional a potência máxima programada.
7. PAINEL DE CONTROLE - para efetuar o controle geral de tudo

que acontece no reator, deve ficar a uma distância razoável do reator, para não ser afetado por radiação.

A N G R A J

ANGRA I

Há mais de duas décadas, já tinha o Brasil interesse em adquirir conhecimentos sobre a energia nuclear. Esta idéia era bastante difundida pelo Almirante Alvaro Alberto da Motta e Silva, que defendia a idéia de implantação de usinas nucleares no Brasil.

Em 1.967, foi organizado um grupo de trabalho especial para examinar a possibilidade de utilização da energia nuclear na região Sudeste, e após minuciosos estudos, recomendaram a instalação de uma usina nuclear com capacidade de 500 M.W. para entrar em funcionamento no final dos anos setenta. Não seria necessariamente, competitiva com uma usina termoelétrica convencional equivalente, mas, além de contribuir para atender a demanda regional de energia elétrica na região, permitiria ao Brasil, adquirir conhecimentos com essa nova tecnologia e abriria caminho para a construção de novas usinas nucleares que supririam as nossas necessidades futuras de energia elétrica.

O nosso interesse na época, estava voltado diretamente à possibilidade de obtenção de tecnologia, pois, a mesma era nessa época, de propriedade das grandes potências estrangeiras.

Em 1.968, confirma-se a recomendação para a construção da primeira usina nuclear brasileira, com capacidade de 500 M.W., cuja recomendação se prendia aos seguintes tipos de reatores:

B.W.R. - Boiling Water Reator.

P.W.R. - Pressurized Water Reactor.

S.G.H.W.R. - Steam Generatin Heavy Water Reactor.

Toda responsabilidade da operação foi dada a Furnas, que com dados fornecidos pela Tecnosolo a respeito de vários locais, chegaram a conclusão que o local para a implantação da usina era a praia de Itaorna, pertencente a uma pe

quena enseada, parcialmente cercada de montanhas de até 700 metros de altura, protegido da influência oceânica por duas ilhas, sendo que o local seria capaz de acomodar até tres usinas nucleares, com capacidade total de até, 2.000 M.W.

Foi implantado todo o processo de concorrência e no final, saiu vencedora a firma Westinghouse Electric Corporation dos Estados Unidos, com o reator tipo P.W.R.

Após o resultado da escolha, várias firmas brasileiras entraram em uma outra concorrência para definir a assessoria dos serviços de engenharia.

Das firmas participantes saiu vencedora a Promom Engenharia S.A., que mandou engenheiros para Nova York, com o propósito de absorverem com eficiência a tecnologia adequada a projetos de usinas nucleares.

Dos seis edifícios que compõem a usina, coube a Promom a incumbência do detalhamento das estruturas de concreto armado e dos sistemas de tubulações, além, do desenvolvimento do projeto arquitetônico completo, envolvendo a concepção e detalhamento civil-estrutural, mecânico, elétrico e arquitetônico e mais uma série de outros projetos relacionados com o funcionamento geral da usina.

Desta complexidade de obras e em função de seu grande porte, a promom implantou um programa de garantia de qualidade de projeto, a fim de assegurar-se de que, os diversos documentos por ela preparados seriam devidamente verificados nas várias fases de sua elaboração.

Quanto a construção, saiu vencedora de uma outra concorrência, a firma Norberto Odebrecht S.A., sendo que a parte de sondagens já estava a cargo da Tecnosolo.

Iniciava-se a construção de nossa primeira usina nuclear com o fim de geração de energia.

Ao entrar em operação comercial, Angra I, somará ao sistema de furnas 626 M.W. de capacidade instalada para o suprimento da energia da região sudeste.

A opção do Brasil no seu programa nuclear foi para as usinas que utilizam urânio enriquecido a água leve pressurizada.

Este sistema conhecido como (P.W.R.) é o que tem maior aceitação em todo o mundo, sendo adotado em 44% das usinas em operação e 62% das usinas em construção.

Os reatores a água pressurizada, permitem a água do circuito primário seja aquecida sem sofrer evaporação. Esta água passa pelo gerador de vapor, que no caso de Angra I, são dois, onde transfere calor a um outro circuito de água não pressurizada, produzindo assim, o vapor que movimenta a turbina.

A turbina, finalmente, move o gerador, produzindo eletricidade, o vapor é condensado pela água do mar, em um circuito independente e a água resultante, é novamente injetada no gerador de vapor.

Em outubro de 1.972, tiveram início as atividades de obras civis na praia de Itaorna.

Realizaram-se escavações, orientadas por mapas de contorno de sub-superfície; foram retirados 480.000 m³ de solos de baixa resistência a compressão.

As fundações começaram a 25,00 metros abaixo do nível do mar; para rebaixar o nível de água, foram perfurados 140 poços profundos, atendidos por 28 bombas. A operação de rebaixamento do lençol de água e drenagem, abrangem um volume de solo de 400.000 metros cúbicos, sendo uma das maiores obras do gênero, já realizada no Brasil.

Modificava-se, portanto, a paisagem em Itaorna, construído dentro dos mais modernos conceitos de energia, elevou-se o prédio do reator, enquanto eram erguidas as estruturas dos outros cinco edifícios que compõem a usina.

Além do fato das construções, envolvem uma concentração de máquinas gigantescas, que chamava a atenção de todos, também teve um outro fato, jamais visto na redonde

za, que foi a operação de desembarque de equipamentos pesados, - ocorrido entre março de 1.974 e abril de 1.975.

Mais de 3.000 toneladas de equipamentos foram desembarcados na praia de Itaorna, o reator, o turbo-gerador, os geradores de vapor e vários outros equipamentos.

Menos de dois anos após o início das obras, já existiam todo um contingente de mão-de-obra brasileira especializada. Nossos técnicos absorveram e assimilaram a mais moderna tecnologia internacional da construção civil de centrais nucleares e adaptaram e desenvolveram a partir das condições locais, um "know-how" diversificado.

Angra I, compõe-se de um conjunto de seis edifícios de estrutura de concreto armado, independentes e com cotas de fundações diversas.

I - EDIFÍCIO DO REATOR

O edifício do reator é o principal deles, pois, é em seu interior que ocorre as fissões nucleares, fixado sobre rocha sã, é de forma cilíndrica, e tem 58,00 metros de altura a partir do nível do mar e 17,00 metros abaixo deste, num total de 75,00 metros, com um diâmetro de 36,00 metros.

Possui dois envoltórios protetores, separados por um intervalo de 1,50 metros, o exterior é de concreto tendo suas paredes 75 centímetros de espessura, o interior é um envoltório de contenção em aço, com chapas de 30 milímetros de espessura.

Nesse edifício estão localizados os componentes principais da usina, integrantes do sistema de refrigeração do núcleo, também chamado de circuito primário. Consta do vaso do reator, de dois geradores de vapor, de duas bombas de refrigeração do reator, do pressurizador e de uma série de compo-nentes do sistema auxiliar do reator. No vaso do reator, pesando 320 toneladas, são colocados os 121 elementos combustíveis que formam o chamado núcleo. O vaso é fechado e em sua tampa, são inseridas 33 barras de controle.

Os dois geradores de vapor, pesando 330 toneladas cada um, se destinam a transferir o calor gerado pela reação para a água do circuito secundário, transformando-a em vapor e que irá movimentar o turbo gerador.

As bombas do circuito primário, fazem a água do gerador de vapor circular de volta para o reator, mantendo assim, a remoção do calor do núcleo.

O pressurizador é utilizado para controlar o nível de pressão desse sistema.

Há ainda no edifício, uma entrada para equipamento de grande porte, e uma entrada para acesso de técnicos, tipo escotilha, a fim de manter o interior do edifício subpressurizado.

II - EDIFÍCIO DE SEGURANÇA

No edifício de segurança, encontra-se os principais equipamentos do sistema de segurança da Usina, estes equipamentos serão acionados em caso de emergência. No piso inferior estão colocados os sistemas de remoção de calor residual, de injeção de segurança e de splay do envoltório de contenção com instalações duplicadas e separadas fisicamente.

Ainda, neste edifício se localizam os componentes do sistema de água de alimentação de emergência a passagem das linhas de vapor, que saem do edifício do reator para o edifício do turbo-gerador e o retorno da água de alimentação do edifício da turbina.

III - EDIFÍCIO DO COMBUSTÍVEL

No edifício do combustível estão as áreas de armazenagens dos elementos combustíveis novos e usados, que são um conjunto de tubos de combustível de uma liga de zircônio que contém em seu interior pastilhas de urânio. O poço de estocagem de combustível usado com capacidade para armazenar 363 elementos de combustível, o equivalente ao abastecimento de tres núcleos completos, foi aprovada no primeiro teste de estanqueidade, permanecendo cheio durante 86 horas sem apresentar

qualquer vazamento.

Além do poço de combustível usado, existe também, um poço de combustível novo, com capacidade para guardar 45 elementos antes que eles entrem em operação no reator.

Ainda nesse edifício acham-se também, todos os equipamentos necessários para possibilitar a movimentação dos elementos combustíveis, na operação de recarregamento do reator nuclear, recebimento de combustível novo e remessa do combustível usado, sendo que na fase de operação de carregamento o combustível novo é retirado verticalmente das prateleiras do poço de combustível e em seguida, colocado na posição horizontal para que possa passar para o edifício do reator pelo tubo de transferência, posteriormente, através de dispositivos especiais, volta a ser colocado na posição vertical, a fim de que sejam transferidos para dentro do vaso do reator, quando do recarregamento, o processo inverso é executado de maneira a retirar os tubos do interior do reator e colocá-los no poço de estocagem do combustível usado.

Todas as etapas acima descritas, se processam sob a água que possui um efeito de blindagem radioativa além de contribuir para retirada do calor residual, gerado no elemento combustível depois de seu uso. Ainda fazem parte deste edifício, outros sistemas tais como, o de refrigeração da água do poço e ventilação.

IV - EDIFÍCIO AUXILIAR NORTE

Neste edifício estão instalados os equipamentos principais do sistema de água de refrigeração de componentes e do sistema de purificação e tratamento de rejeitos.

V - EDIFÍCIO AUXILIAR SUL

Neste edifício se encontram os geradores diesel de emergência, o sistema de proteção à saúde, o sistema de controle de entrada e saída de pessoal nas áreas em que sejam detectadas eventuais contaminações, bombas de carregamento,

sala de cabos, sala de computador, sistema de ventilação e também o cérebro da usina que é a sala de controle, dali se controlam todos os sistemas elétricos da usina, o sistema secundário e também, o reator e seus respectivos sistemas auxiliares e de segurança.

VI - EDIFÍCIO DO TURBO GERADOR

No edifício do turbo gerador estão abrigados a turbina, o gerador, seus acessórios e também dois condensadores, pesando um total de 1.670 toneladas de equipamento, externo ao edifício estão os transformadores principais que alimentam a sub-estação e as linhas que vão até os centros consumidores.

A potência elétrica instalada de Angra está concentrada em um único turbo-gerador.

A exemplo dos edifícios do combustível e do turbo gerador, os edifícios auxiliares Norte e Sul, apoiam-se em uma laje de concreto armado.

Como já dissemos anteriormente, o vapor que serviu para movimentar as turbinas é condensado pela água do mar, em um circuito independente, e a água resultante é novamente injetada no gerador de vapor, para proceder esta condensação com a água do mar, foi construída uma tomada de água independente, que através de bombas captam a água necessária para a condensação do vapor e os devolvem até a enseada de Piraquara de fora, formando assim, um circuito. Esta água é devolvida através de um túnel com cerca de 1.200 metros de comprimento e que servirá, também, para as descargas da água de refrigeração de Angra II e Angra III.

Além de todo o complexo de obras até agora exposto e devido as péssimas condições de acesso à usina na época de sua construção, se tornou necessário a construção de um conjunto Habitacional com a finalidade de abrigar todo o pessoal envolvido na obra de Angra I, assim foi construída a vila residen

cial de Praia Brava, uma pequena cidade à beira mar, rodeada de montanhas e dotada de toda infra-estrutura capaz de abrigar engenheiros, técnicos, funcionários e suas respectivas famílias.

A N E X O

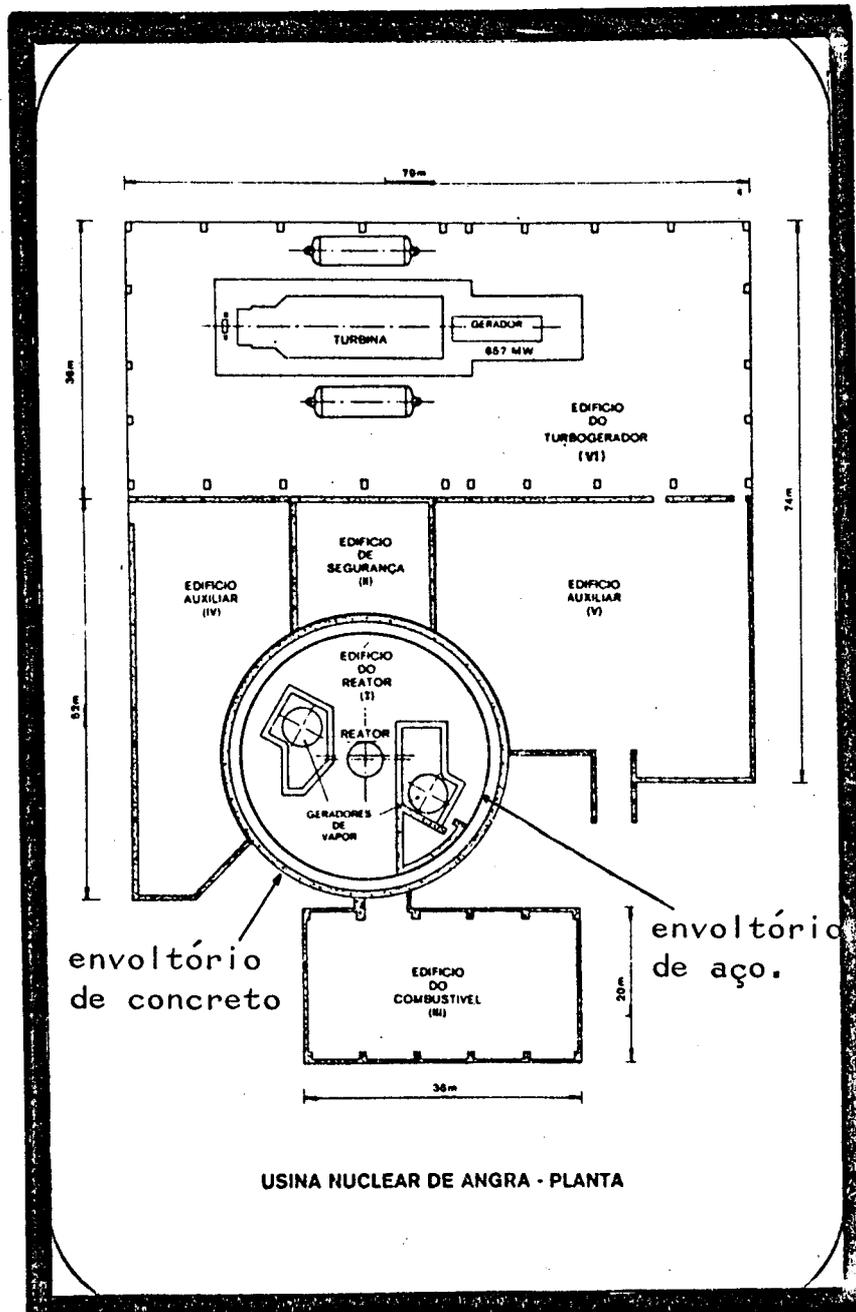
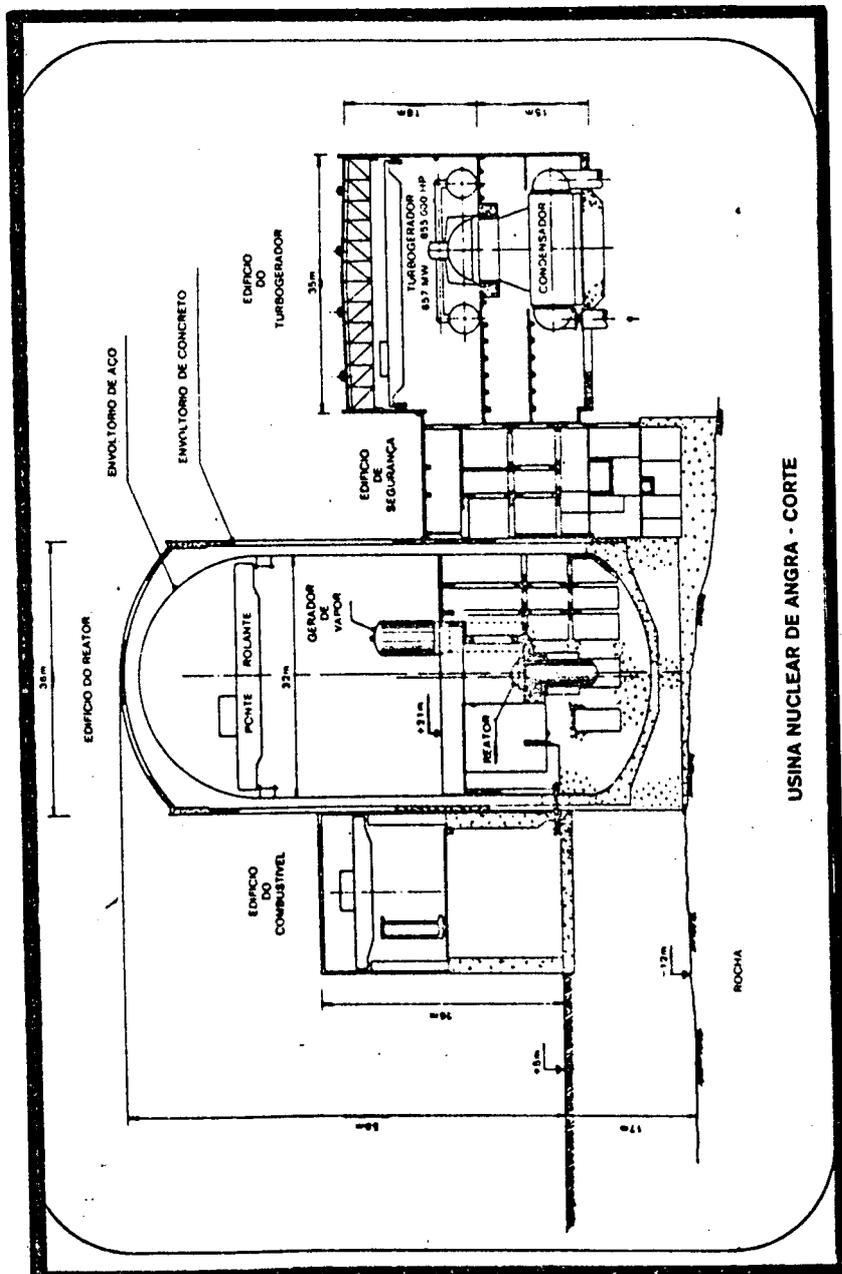


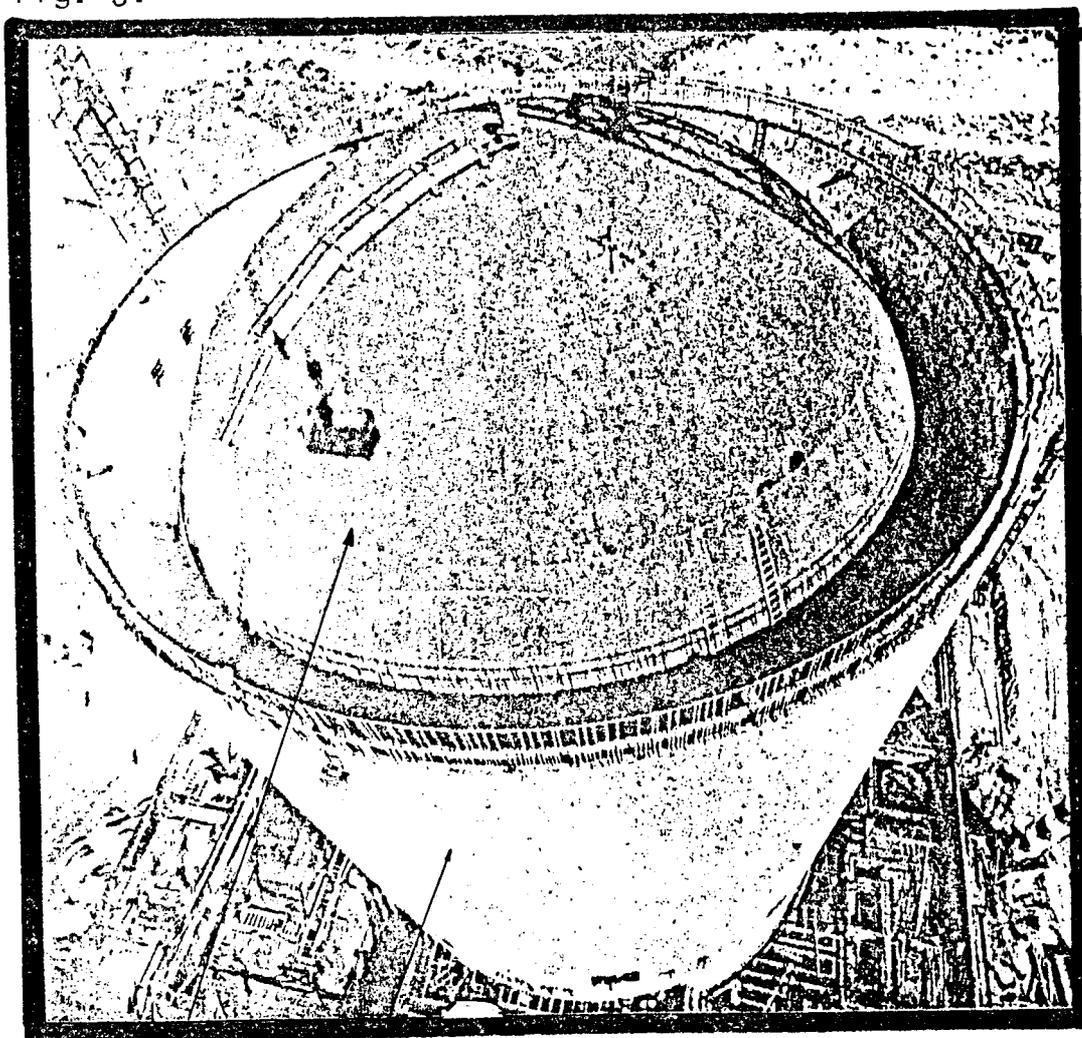
Fig. 1.



USINA NUCLEAR DE ANGRA - CORTE

Fig. 2.

Fig. 3.



EDIFÍCIO DO REATOR DE ANGRA I - DESTACANDO OS DOIS EN
VOLTÓRIOS. EXTERNO - concreto de 75 cm. de espessura.
INTERNO - aço 30 mm. de espessura.

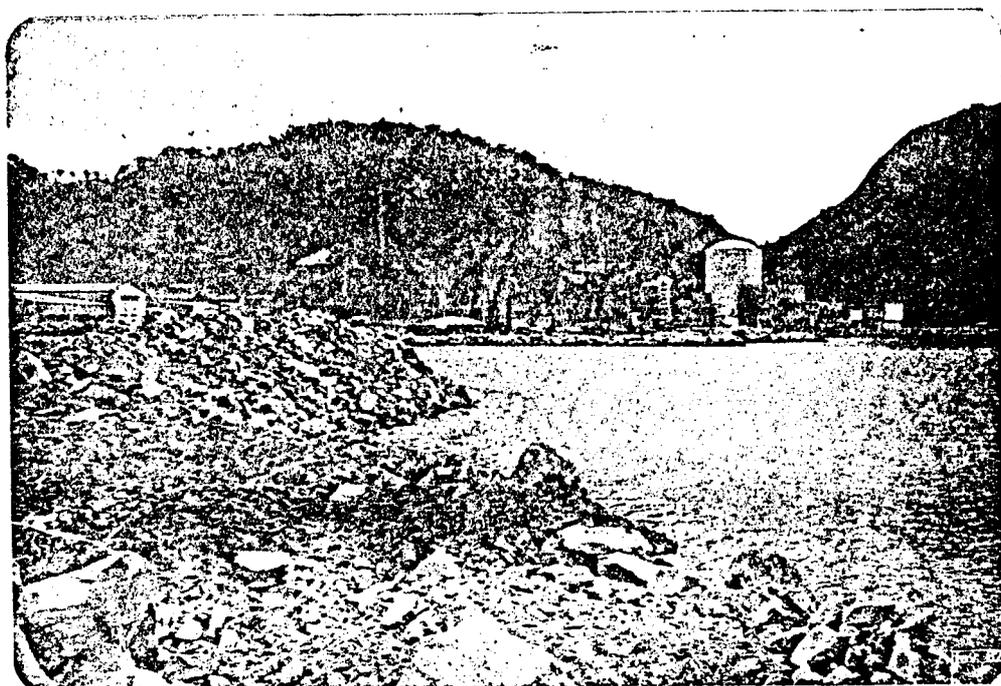


Fig. 4.

VISTA GERAL DE ANGRA I
EM DESTAQUE O EDIFÍCIO DO REATOR

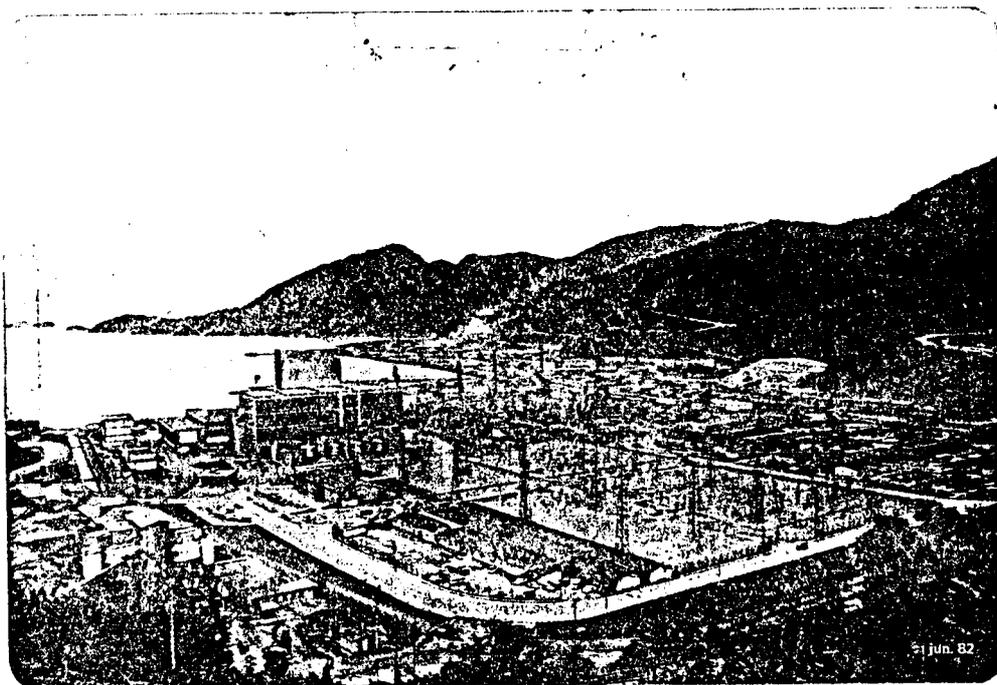


Fig. 5.

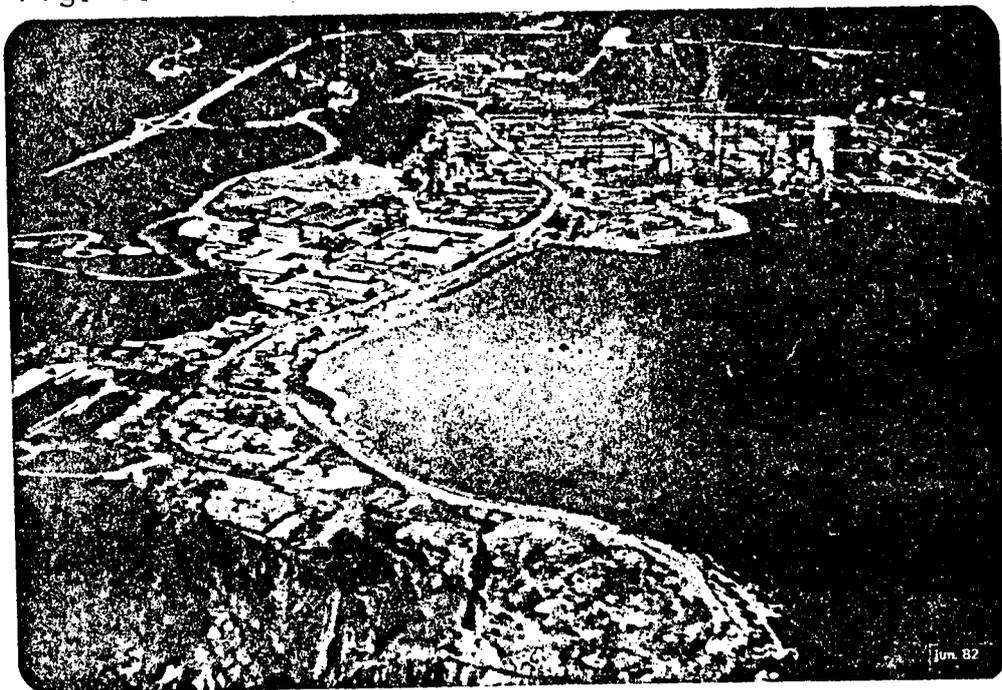
VISTA GERAL DA PRAIA DE ITAORNA

Primeiro plano - ANGRA I

Centro - ANGRA II

Fundo - DESMONTE DA ROCHA PARA CONSTRUÇÃO ANGRA III.

Fig. 6.



VISTA GERAL DA PRAIA DE ITAORNA. APARECENDO ANGRA I NO FUNDO, ANGRA II NO CENTRO, onde estão concentra do os guindastes, E EM PRIMEIRO PLANO O DESMONTE - DA ROCHA ONDE SERA' CONSTRUIDA ANGRA III.

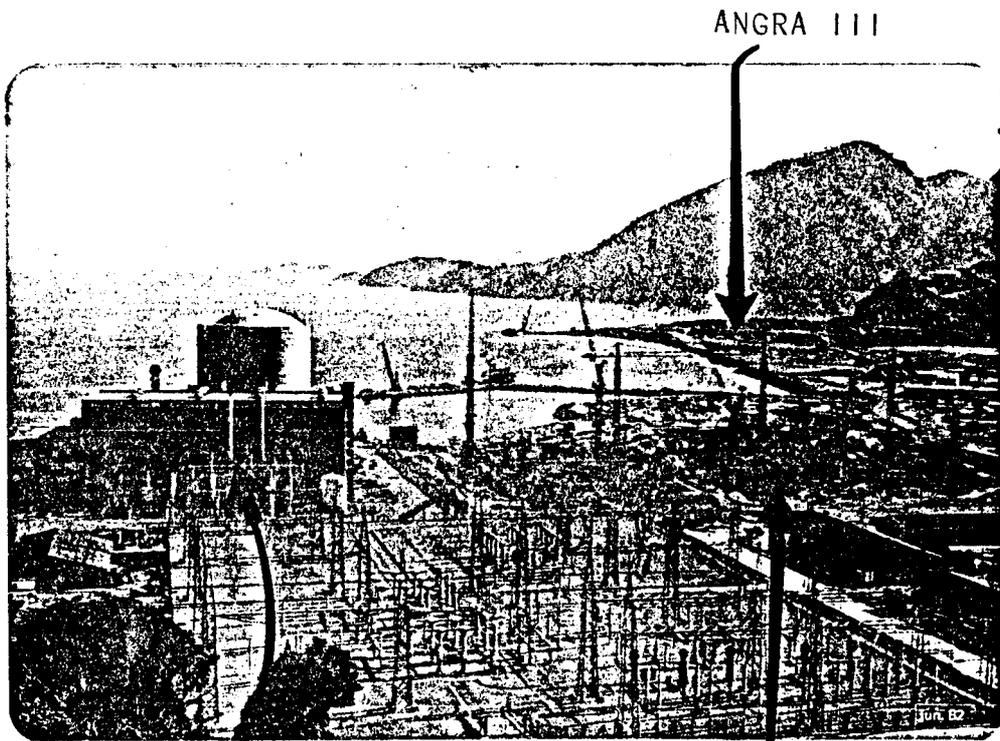


Fig. 7.

ANGRA I

ANGRA II

ANGRA III

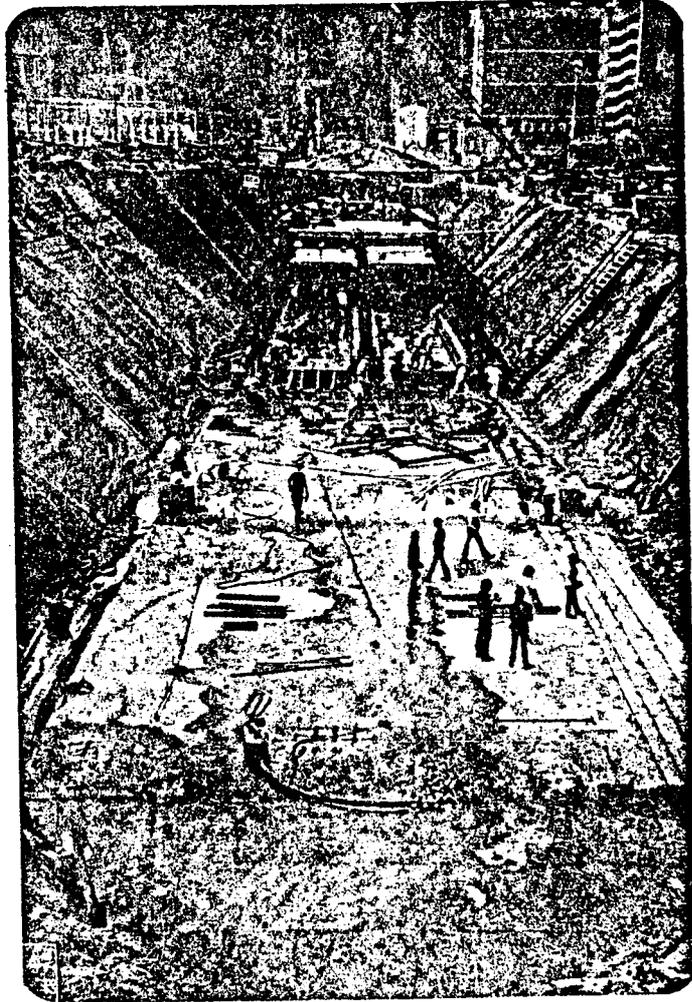


Fig. 8.

GALERIA PARA DESCARGA DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO.

ANGRA II

III

ANGRA IIII

- ANGRA II e ANGRA III -

Uma das causas principais de o Brasil ter entrado no campo da energia nuclear, foi sem dúvida, a possibilidade da aquisição de tecnologia desta nova ciência. Também, o fato de se ter adquirido o primeiro reator da Westinghouse, se deu em virtude de que a mesma, dominava o comércio de reatores, principalmente do reator P.W.R., que era o que se encaixavia perfeitamente às nossas condições. Naquela oportunidade, participava, também, da concorrência a Alemanha Federal, também, com o tipo de reator P.W.R., cujo Know-how tinha sido adquirido dos Estados Unidos que na época representava a fonte de tecnologia para este tipo de reator.

O contrato com a Westinghouse não permitia ao Brasil um desenvolvimento total sobre o ciclo do combustível, tendo conseguido seu objetivo, somente com o acôrdo de cooperação nuclear assinado no dia 27-6-75, com a Alemanha Federal, sendo este, amplo e permitido ao Brasil, um desenvolvimento tecnológico sobre o ciclo completo do combustível nuclear.

Mesmo sendo com os Estados Unidos um contrato fechado, todo o pessoal que trabalhou direta ou indiretamente, nas obras de Angra I, adquiriu experiência nos mais diversos setores da construção de Angra I.

Devido ao projeto de uma usina nuclear caminhar pari passu com a obra, e estando o mesmo sujeito a constantes revisões e alterações ao longo da obra, e também, ao fato de que sempre era necessário adaptações da tecnologia dos técnicos americanos às nossas condições locais, era natural que haveria a participação dos nossos engenheiros em qualquer alteração que se fizesse necessária, resultando, portanto, dia após dia, num aprendizado para o nosso pessoal.

Praticamente as mesmas pessoas que trabalharam na construção de Angra I, também estão trabalhando na construção de Angra II o que está possibilitando um melhor cumprimento do cronograma traçado.

A firma alemã, responsável pelo fornecimento das unidades que fazem parte do acôrdo, é a Kraft werk Union AG, e as unidades II e III, em andamento, tem os mesmos princípios de funcionamento da unidade I, de responsabilidade da Westinghouse, menos as dimensões, que no caso das unidades II e III, são maiores que a I.

DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS PRINCIPAIS:

1. - EDIFÍCIO DO REATOR - Abriga o vaso do reator, o combustível (UJA - UJB) vel e o sistema de segurança, destinada-se também, a estocagem e ao manuseio do combustível novo e usado. A estrutura de concreto é cilíndrica na base e esférica em cima, com 60,40 m. de diâmetro e 60cm. de espessura e uma altura de 57,00 metros. O envoltório de contenção é de aço e de forma esférica, cuja chapa apresenta uma espessura de 30 milímetros. O edifício do reator, está construído sobre 290 estacas com diâmetro variando de 1,10 a 1,30 metros.

2. e 3. - EDIFÍCIOS AUXILIARES - Abrigam todo o sistema auxiliar do reator: os sistemas químicos, o de tratamento de rejeito radioativo, o de estocagem de água de reposição, o de tratamento de água de reposição.

Possui um comprimento de 65,00 metros por 23,00 metros de largura e 20,00 metros de altura, ocupando uma área de, aproximadamente, 2.000 ms². sendo que, em sua construção foram necessários 153 estacas.

4. EDIFÍCIO DE ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE EMERGÊNCIA - Abriga o sistema de água de alimentação de emergência e o painel de controle de emergência, que permite desligar a usina com segurança.

Tem 48 metros de comprimento, 26 metros de largura e 7,50 metros de altura, ocupando uma área aproximada de 1.270 ms².

5. EDIFÍCIO GRUPO DIESEL DE EMERGÊNCIA

E DE ÁGUA FRIA - (UBP)

- Abriga quatro geradores diesel de emergência, além da estação de resfriamento de água para ser usada na refrigeração dos componentes e sistemas da usina.

6. EDIFÍCIO DO TURBO GERADOR - (UMA)

Abriga um conjunto turbo-gerador, condensadores, sistema de condensador, sistema de água de alimentação e sistema de vapor. Tem 86,00 metros de comprimento, 48,00 metros de largura e 35,00 metros de altura e está apoiado sobre 180 estacas.

Os trabalhos de estaqueamento dos prédios que compõem Angra II tiveram seu início em junho de 1977 sendo concluídos em dezembro de 1.980, onde foram cravadas 744 estacas com diâmetro de 1,30 metros e capacidade para 930 toneladas e mais 695 estacas com diâmetro de 1,10 metros e capacidade para 650 toneladas.

Em março de 1.981, foram iniciados os trabalhos de reforço de estacas nos prédios da estrutura da tomada d'água e do edifício de controle, com um total de 245 estacas de 1,80 metros de diâmetro.

Portanto, tivemos um total de 1684 estacas sendo que somente no edifício do reator, foram cravadas 290 estacas.

Para a cravação das 1.684 estacas, foram utilizados os seguintes equipamentos:

Wirth H-1.500

Wirth B-6

Wirth PBA

Calweld CH-150

As profundidades máximas foram de 59,00 metros, apresentando uma profundidade média de 42,00 metros.

As dificuldades encontradas foram devidas aos matacões existentes ao longo de toda a encosta oceânica da serra do mar.

A obra possui duas centrais de concreto, marca Donar, de capacidade nominal horária de 60 m^3 cada uma, com o tempo de mistura, variando em torno de 1 minuto.

Um detalhe importante é que, para atender especificações do projeto, a temperatura do concreto não poderia atingir 70°C e para poder garantir tal especificação, foi montada junto à obra, uma central de gelo marca Sabroe e que fabrica gelo em escama e é utilizado na fabricação do concreto, o concreto sai preparado em torno de 9°C a 10°C .

Existe, também, na obra uma central de britagem com capacidade média mensal de $800 \text{ m}^3/\text{mês}$ de brita 20 e $1.070 \text{ m}^3/\text{mês}$ de brita 27.

Também possui uma central de armação que ocupa uma área de 8.000 m^2 , sendo 4.500 m^2 de área coberta, a produção desta central de armação, atinge em torno de 1.500 toneladas/mês.

As bitolas mais utilizadas na obra são a de 20 mm . e a de 32 mm . bem como a de 40 mm .

Possui, também, uma central de carpintaria que ocupa uma área de 11.000 m^2 . sendo 2.500 m^2 . em área coberta, a capacidade média de produção, gira em torno de $3.500 \text{ m}^2/\text{mês}$ e de colocação em torno de $2.500 \text{ m}^2/\text{mês}$.

Para conseguir tais índices, foi organizado pela construtora um certo padrão de trabalho que funciona da seguinte maneira:

Tem uma divisão da obra total em edifícios, os quais, por sua vez, tem um engenheiro responsável por exemplo, pelos prédios A e B, e como os serviços também são divididos possuindo também, cada conjunto de serviços um engenheiro ou técnico responsável os mesmos funcionam como uma unidade de apoio às necessidades dos conjuntos de prédios de res

ponsabilidade de determinado engenheiro.

Não existe, portanto, um armador para determinado prédio, este armador pertence a um grupo de serviço, em cujo grupo existe um engenheiro responsável.

Por exemplo, um engenheiro responsável pelos edifícios A e B, necessita de 8 armadores para montagem, ele deve requisitar do engenheiro chefe do conjunto de serviços a que pertence os armadores, e este manda os armadores e já com a previsão de seu retorno, pois, cabe ao engenheiro de serviço fiscalizar a execução daquele serviço.

Com este procedimento, dificilmente se encontrará pessoal ocioso na obra.

No edifício do reator, após o es taqueamento, foi executado uma laje de aproximadamente, 2,00 metros de altura, chamada laje de encabeçamento, para dar rigidez ao conjunto, transformando-o em uma estrutura monolítica, apoiada sobre 290 estacas, no cálculo da laje de encabeçamento foi levado em conta a carga superior a ela em cada ponto, de maneira que a estrutura que se apoiaria sobre a laje, transmite a ela sua carga e ela (laje) transmite às estacas.

Para impedir que por algum acidente, algum vazamento de água do circuito primário, proveniente do edifício, atinja o lençol, foi executada uma impermeabilização sobre a laje de encabeçamento.

Posteriormente à impermeabilização é executada uma outra laje sobre a laje de encabeçamento, com 3,50 metros de altura. Sobre esta laje é que será colocado o edifício do reator.

Após a execução desta laje, foram executados todos os compartimentos que ficam abaixo da linha do equador do envoltório de concreto, e que resultou em uma calota de concreto já com as aberturas para a passagem de tubulações.

Sobre esta calota de concreto,

foi se montando o envoltório de aço, cujas peças provém do canteiro de pré-montagem, para serem soldadas no local. Um guindaste gigante apanha as peças e as coloca na posição correta para soldagem, dentro da calota de concreto.

Para se iniciar a montagem foi montado um cilindro provisório de apoio na calota de concreto.

Posteriormente, sobre o cilindro foi colocada a primeira calota de aço, sendo esta, um conjunto de várias chapas, mas que já veio soldada do canteiro de pré-montagem. Com o auxílio do guindaste a peça foi içada e introduzida dentro da estrutura de concreto, sendo apoiada sobre o cilindro, previamente montado dentro da calota de concreto.

A finalidade do cilindro era permitir um espaçamento entre o envoltório de concreto e o envoltório de aço para que desse espaço para se proceder a soldagem da parte exterior do envoltório de aço.

Após a colocação da primeira calota, um outro conjunto de chapas é soldado circunferencialmente à primeira, formando uma primeira zona, sendo essas apoiadas na estrutura de concreto, através de anéis suportes temporários.

Assim foi executada e apoiada a segunda, terceira e quarta zonas, sendo esta última, apoiada em anel suporte principal.

Esta calota gigante, constituída da calota inferior e as três zonas superiores, deveriam ficar diretamente sobre a calota de concreto, a menos de uma camada de 20 centímetros composta de argamassa de assentamento, denominada pelos engenheiros de obra, de grauteamento.

O processo para retirada dos anéis temporários e do cilindro, foi chamada de "floating-down" e que se consistiu no seguinte:

a. foram retirados todos os anéis suportes temporários e o cilindro foi desmontado e retirado, ficando, portanto, a estrutura apoiada sobre os anéis suportes

principais.

b. procedeu-se ao enchimento com água, da calota de concreto, ficando, portanto, flutuando a calota esférica sobre 900 ms^3 de água.

c. foram retirados os anéis superiores principais, deixando somente uns apoios de madeira de 20 cm. de altura, espaçados ao longo do círculo em uma mesma altura, servindo de apoio para o envoltório de aço e permitindo que fiquem uma distância de 20 cm. entre os dois envoltórios para serem preenchidos por argamassa de assentamento.

d. foi retirada a água através de um dreno existente no fundo da calota de concreto, ficando assim o envoltório de aço apoiado sobre os apoios de madeira.

Para proceder tal operação, foram colocados circunferencialmente, apoios elásticos, com a finalidade de reduzir ou mesmo impedir o atrito das chapas de aço com a estrutura de concreto. Apoios esses, denominados de "Elastic Bedding" que consistem em várias placas em forma de cunha, medindo 70 cm. de comprimento por 30 cm. de largura e espessura de 5 a 3 cm. feito de espuma rígida de Poliuretano e colocados verticalmente nas chapas de aço do envoltório uma ao lado da outra em toda circunferência.

e. procedeu-se ao enchimento do espaço existente com argamassa de assentamento.

Posterior à colocação do enchimento da calota metálica, foi executada uma base de concreto armado sobre a mesma, para servir de base para todas as estruturas internas do reator.

A partir da linha do equador, os envoltórios de aço e de concreto terão entre ambos um espaçamento de 1,50 metros, sendo o envoltório de concreto cilíndrico até a linha do equador e a partir daí, esférico e o envoltório de aço totalmente esférico.

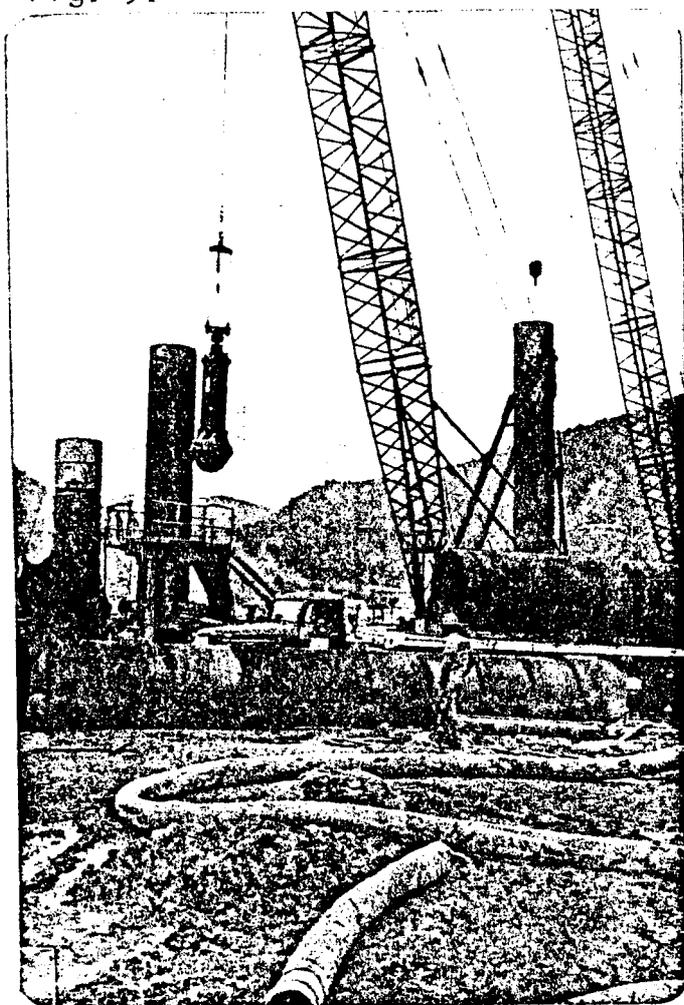
Hoje, os dois envoltórios se encontram

tram na linha do equador, cota + 28,15 m., e no interior do envoltório de aço estão sendo executados as estruturas de concreto armado. As estruturas são executadas em simetria nos quatro quadrantes do envoltório, para que haja equilíbrio de um quadrante em relação ao outro.

Já na unidade III foi executado o desmonte da rocha até a cota + 1,80 metros, sendo que hoje, estão executando as aberturas na rocha para os encaixes dos edifícios nas diversas cotas, variando estas cotas, de edifícios para edifício, girando em torno da cota - 10 00 sendo que todos os edifícios serão apoiados sobre rocha sã.

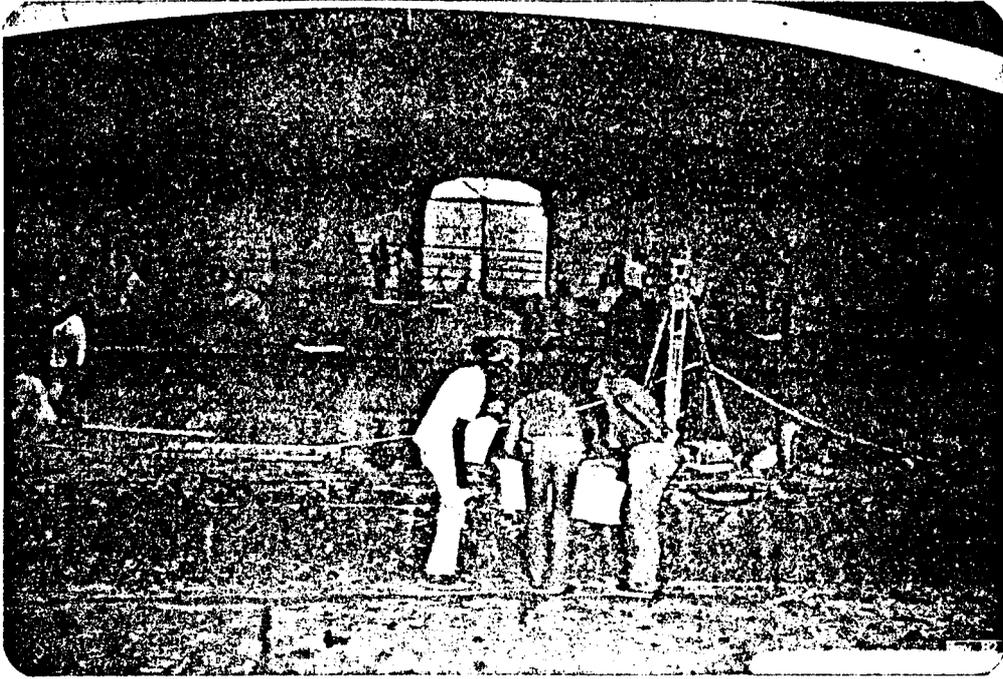
A N E X O

Fig. 9.



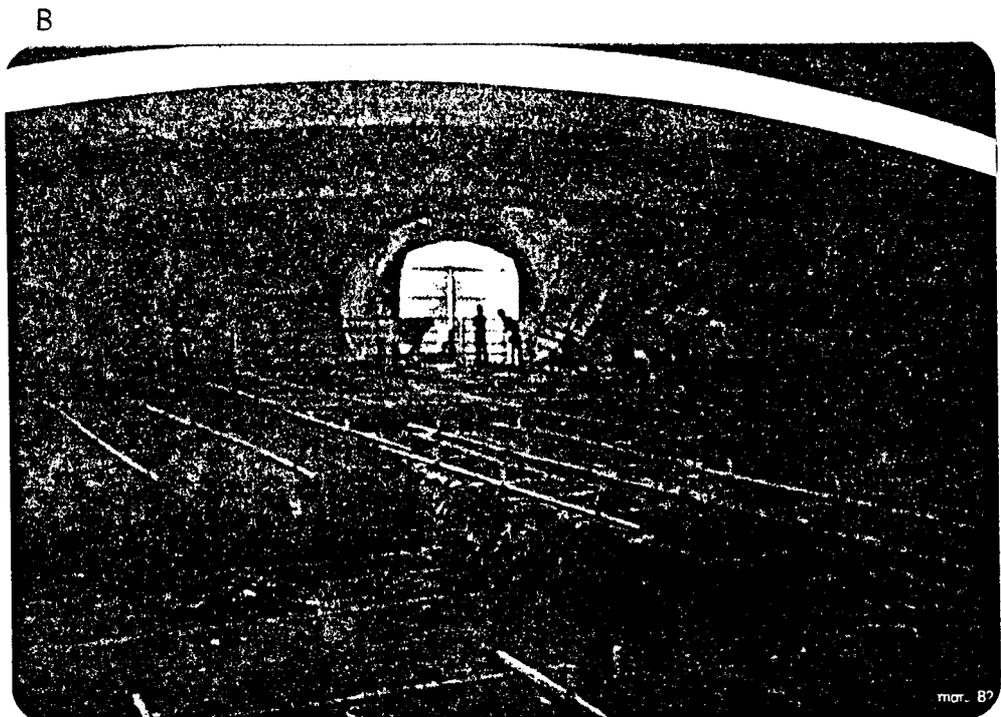
CAMISAS DE AÇO UTILIZADAS NO ESTAQUEAMENTO DA UNIDADE II.

Fig. 10.



A

SERVIÇOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO
DA UNIDADE II.



B

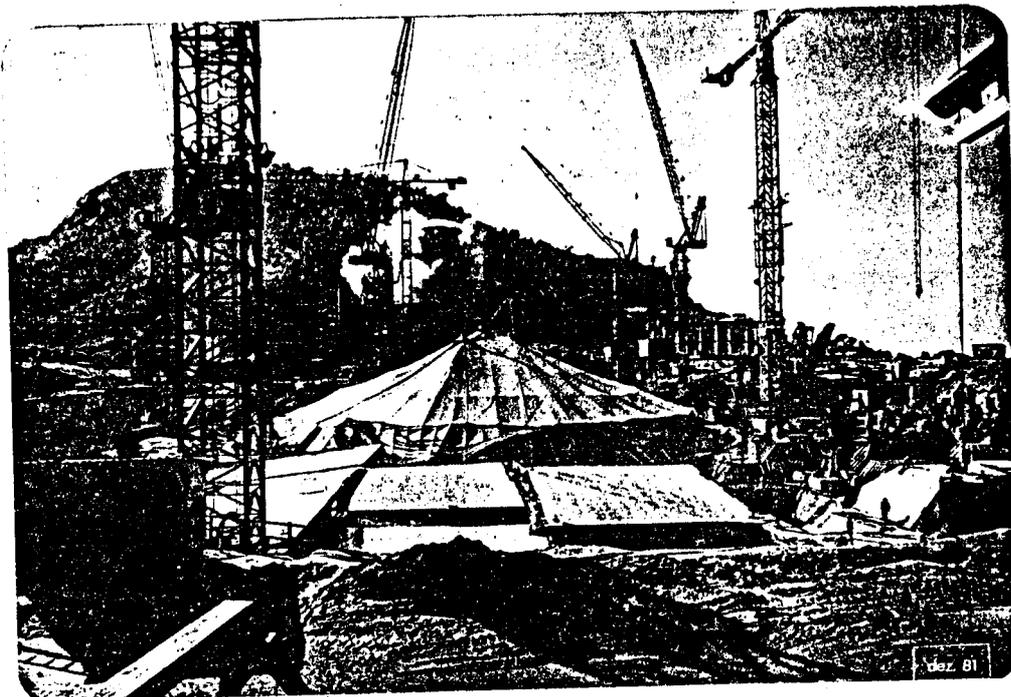


Fig. 11.

INFLÁVEL - LONA DE CIRCO
UTILIZADOS NA PROTEÇÃO DOS SERVIÇOS DE
IMPERMEABILIZAÇÃO.

Fig. 12.

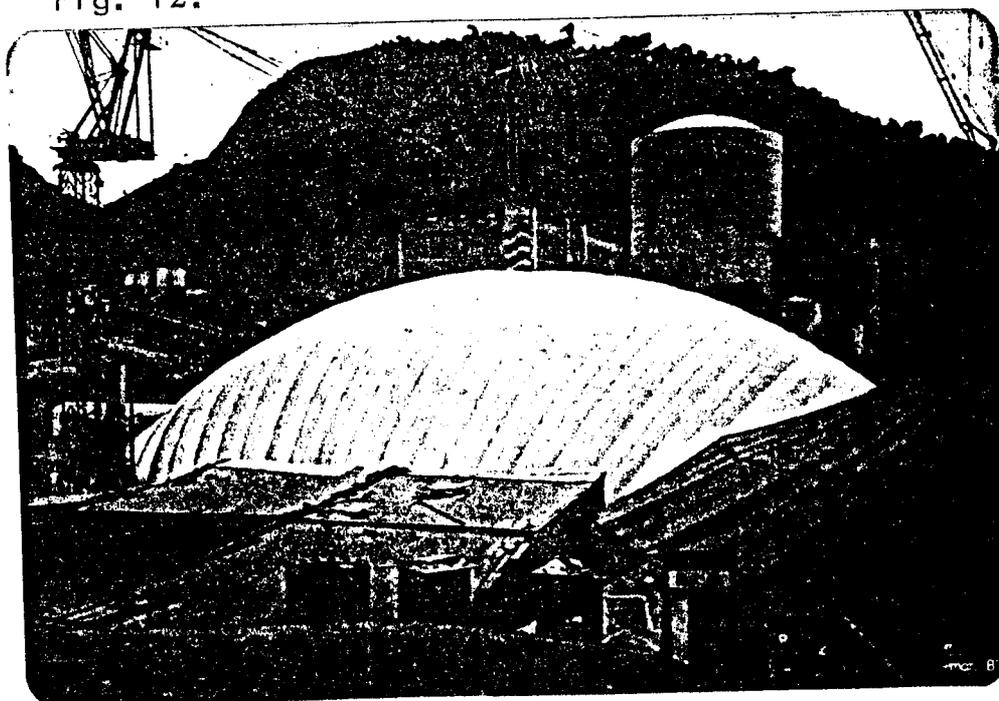
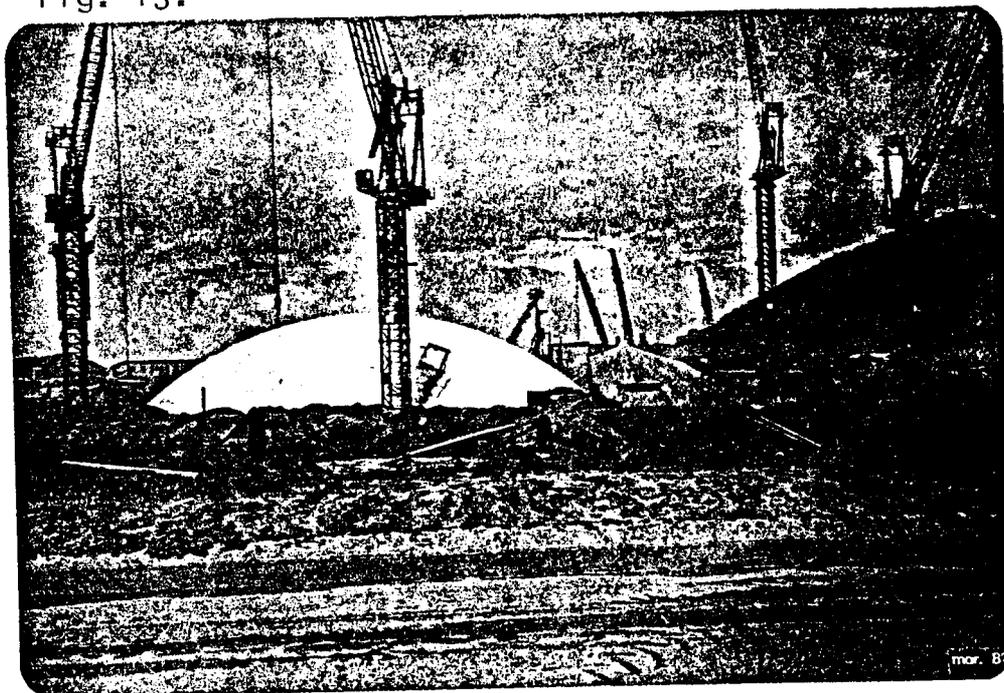
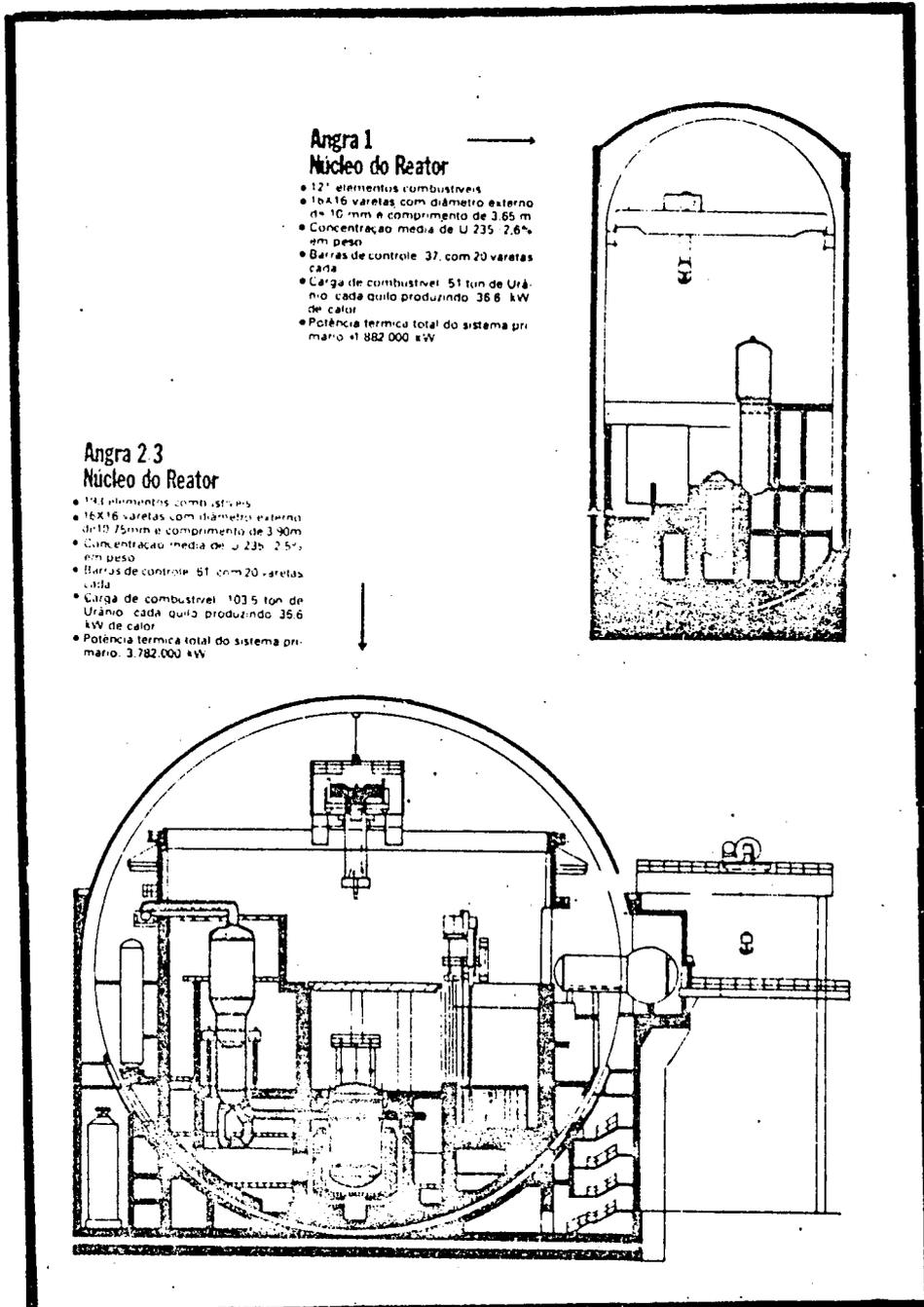


Fig. 13.



INFLÁVEL E LONA DE CIRCO UTILIZADOS PARA PROTEÇÃO
DOS SERVIÇOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO.

Fig. 14.



COMPARAÇÃO ENTRE OS EDIFÍCIOS DO REATOR DE
ANGRA I e ANGRA II.

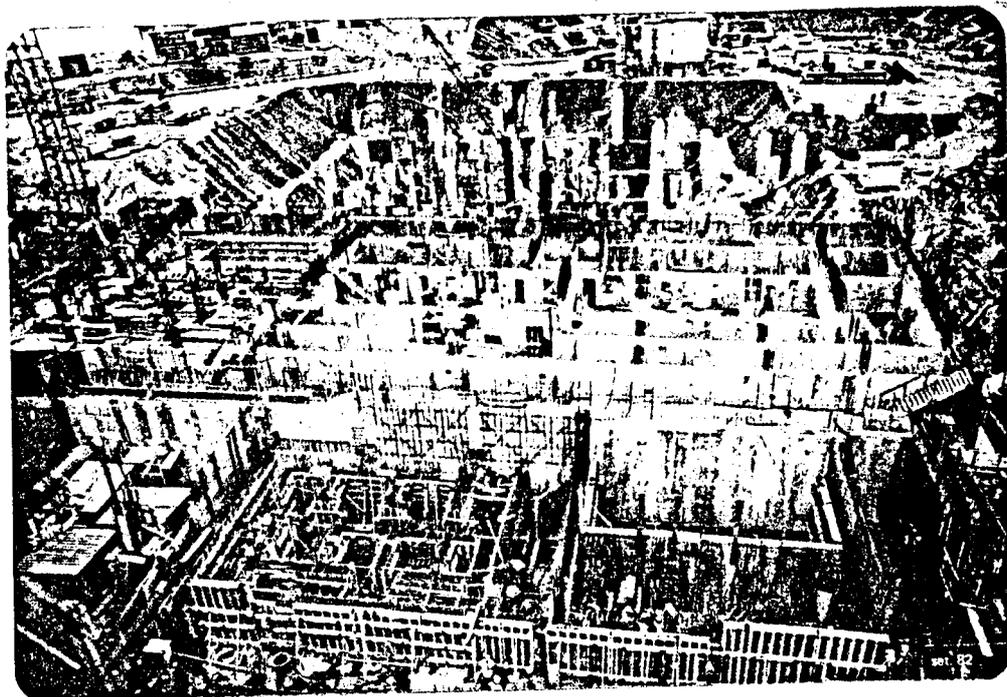


Fig. 15.

EDIFÍCIOS DO UKA - AUXILIAR DO REATOR
EDIFÍCIOS DO UBA - CONTROLE.

Fig. 16.

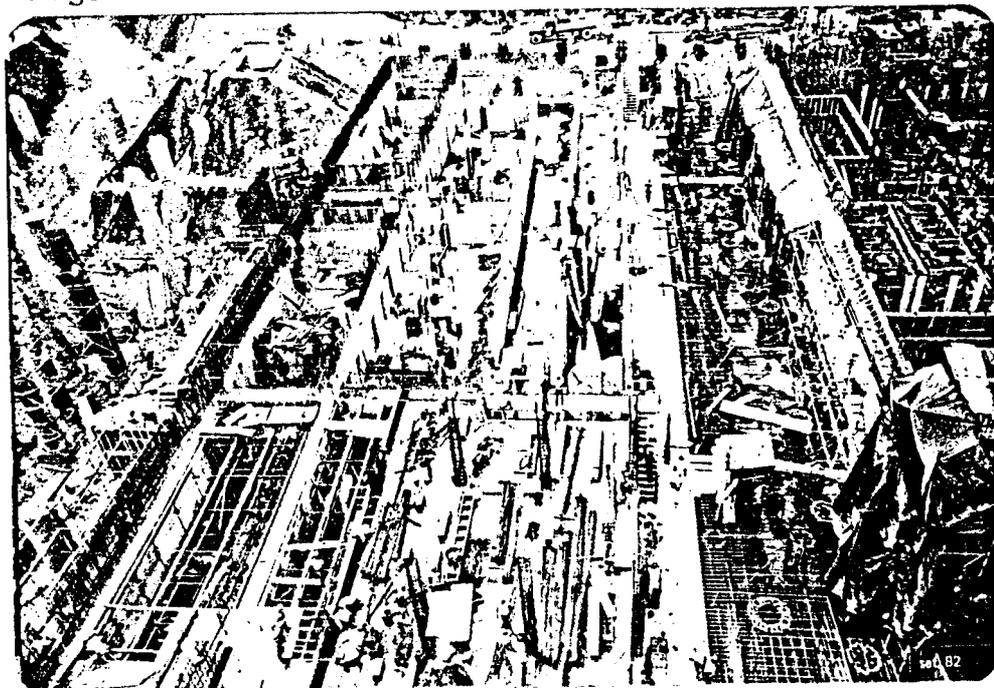
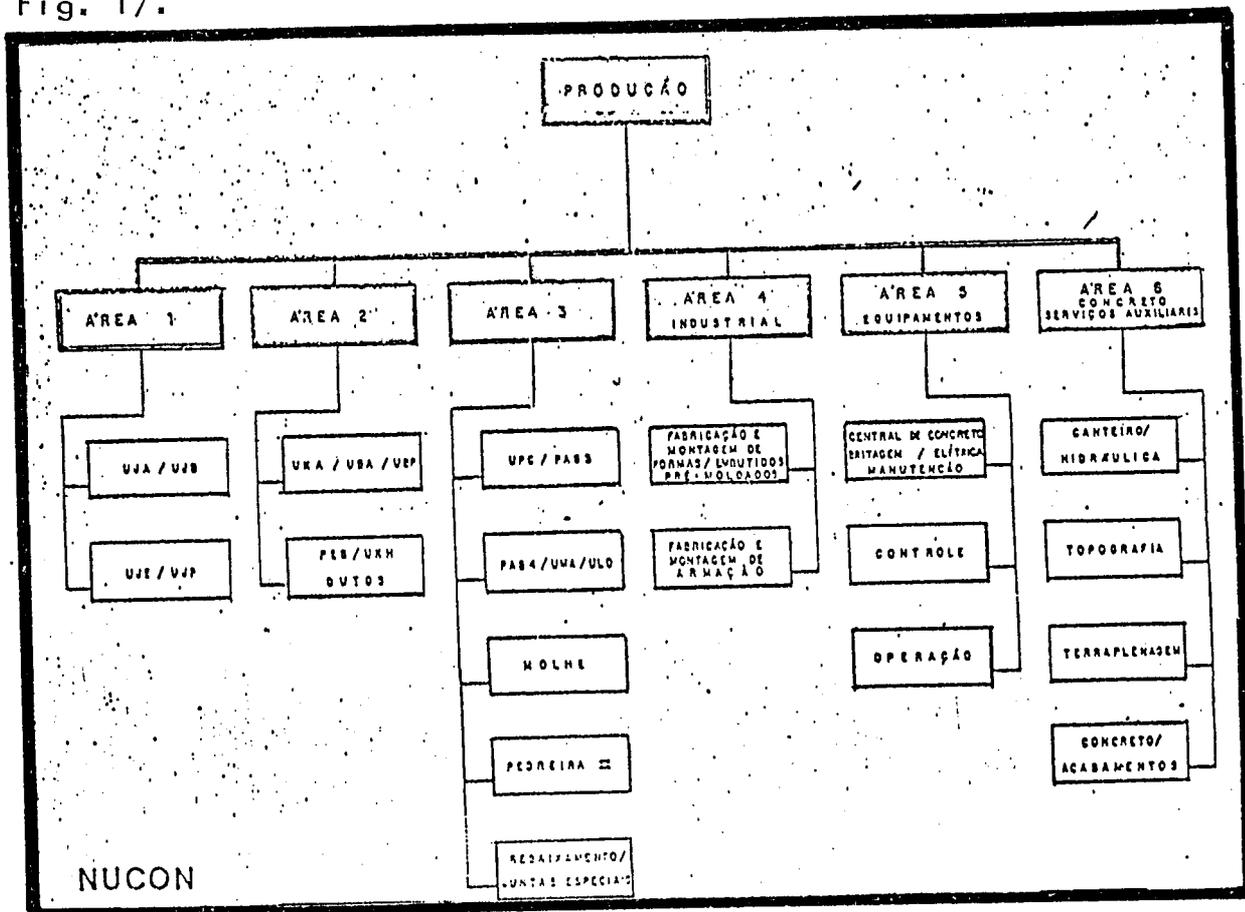


Fig. 17.



Organograma da obra para melhor controle e consequentemente aumento do rendimento.

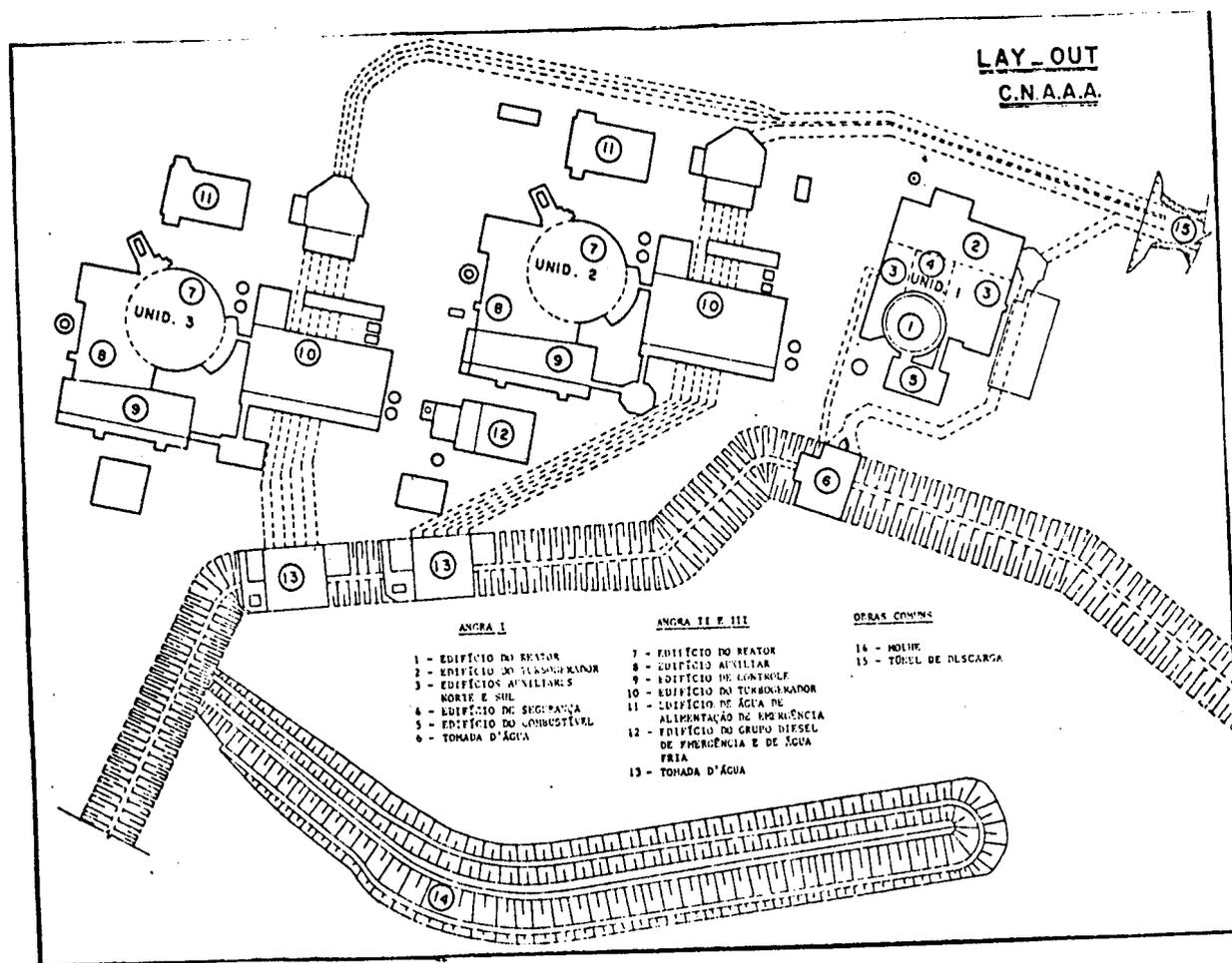


Fig. 18.

POSICIONAMENTO INICIAL DAS TRÊS UNIDADES.

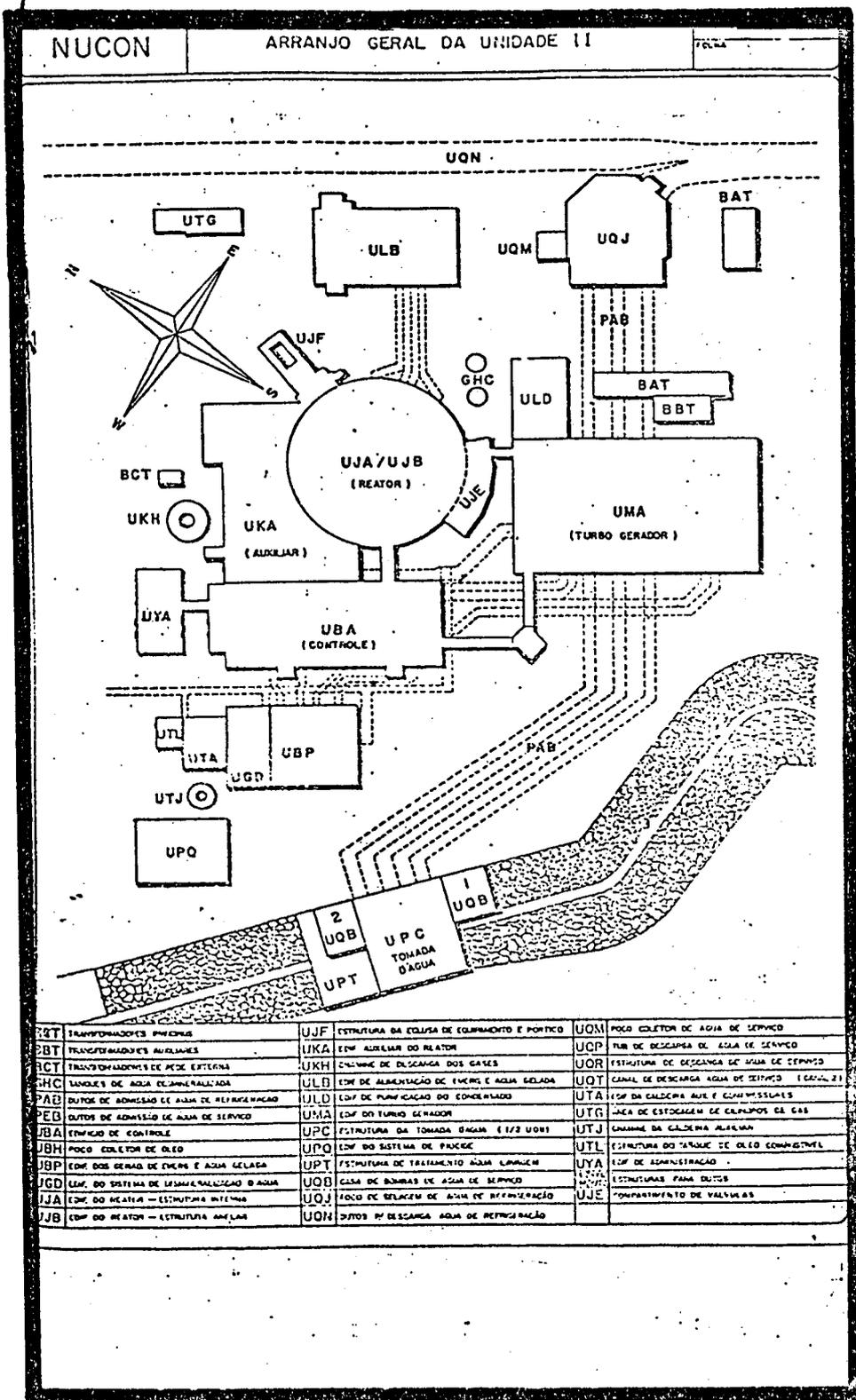


Fig. 19.

BCT	TRANSFORMADORES DE POTENCIA	UJF	ESTRUTURA DA CELULA DE EQUIPAMENTO E PORTICO	UQM	POCO COLETOR DE AGUA DE SERVICO
BBT	TRANSFORMADORES AUXILIARES	UKA	EMP AUXILIAR DO REATOR	UQP	TUB DE DESCARGA DE AGUA DE SERVICO
BCT	TRANSFORMADORES DE TENSÃO ESTERNA	UKH	CANAL DE DESCARGA DOS GASES	UQR	ESTRUTURA DE DESCARGA DE AGUA DE SERVICO
GHC	TANQUES DE AGUA DE AMPLIFICADA	ULB	EMP DE ALIMENTAÇÃO DE ENCHES E AGUA GELADA	UOT	CANAL DE DESCARGA AGUA DE SERVICO (CANAL 2)
PAB	OUTOS DE ADMISSÃO DE AGUA DE REFRIGERAÇÃO	ULD	EMP DE PURIFICAÇÃO DO CONDENSADO	UTA	EMP DA CALDEIRA AUX E COMPONENTES
PAB	OUTOS DE ADMISSÃO DE AGUA DE SERVICO	UMA	EMP DO TURBO GERADOR	UTG	AREA DE ESTOCAGEM DE CALORIMOS DE GAS
UBA	EMPICO DE CONTROLE	UPC	ESTRUTURA DA TOMADA D'AGUA (1/2 UONI)	UTJ	GRANDE DA CALDEIRA ALUMIN
UBH	POCO COLETOR DE OLEO	UPO	EMP DO SISTEMA DE PROTEC	UTL	ESTRUTURA DO TANQUE DE OLEO COMESTIVEL
UBP	EMP DOS GERADOS DE ENCHES E AGUA GELADA	UPT	ESTRUTURA DE TRATAMENTO AGUA LIMPA	UYA	EMP DE ADMINISTRAÇÃO
UGD	EMP DO SISTEMA DE TRATAMENTO AGUA BOMBA	UQB	CASA DE BOMBAS DE AGUA DE SERVICO	UJE	ESTRUTURAS PARA OUTOS
UJA	EMP DO REATOR - ESTRUTURA INTERNA	UQJ	POCO DE RELAZEM DE AGUA DE REFRIGERAÇÃO		
UJB	EMP DO REATOR - ESTRUTURA ANEXAS	UQN	OUTOS DE DESCARGA AGUA DE REFRIGERAÇÃO		

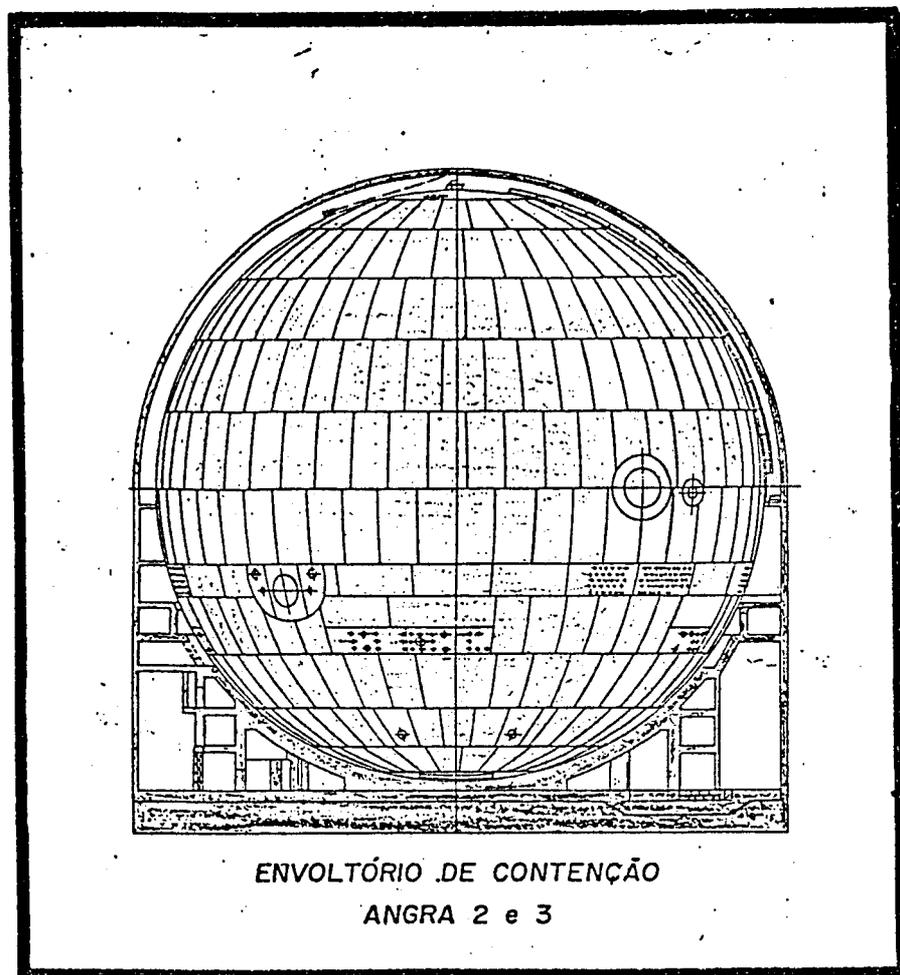


Fig. 20.

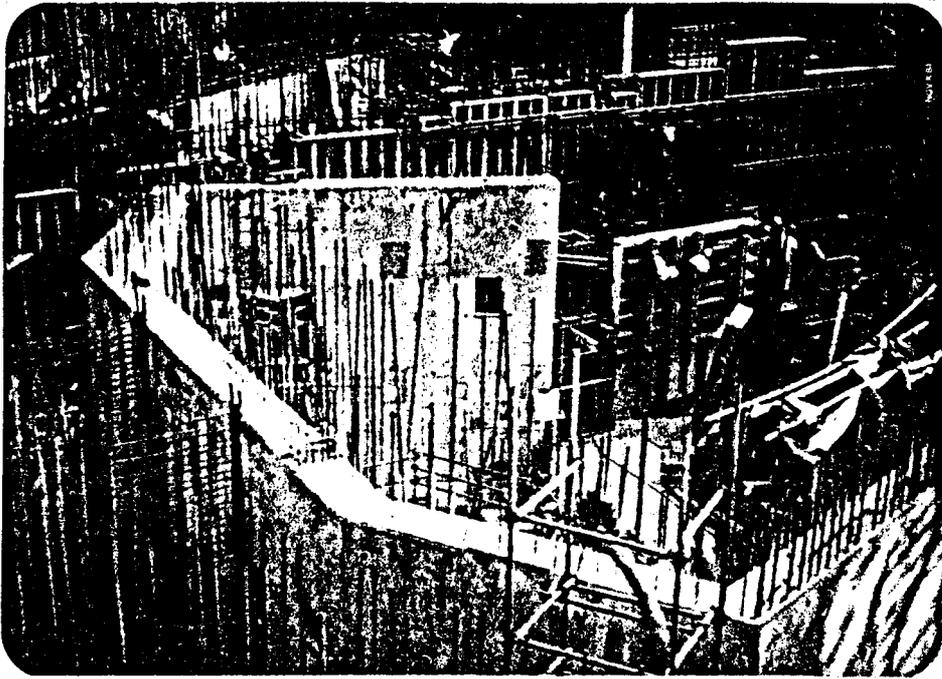


Fig. 21-A

As construções internas do envoltório de aço são erguidas concomitantemente em todos os quadrantes.

Fig. 21-B

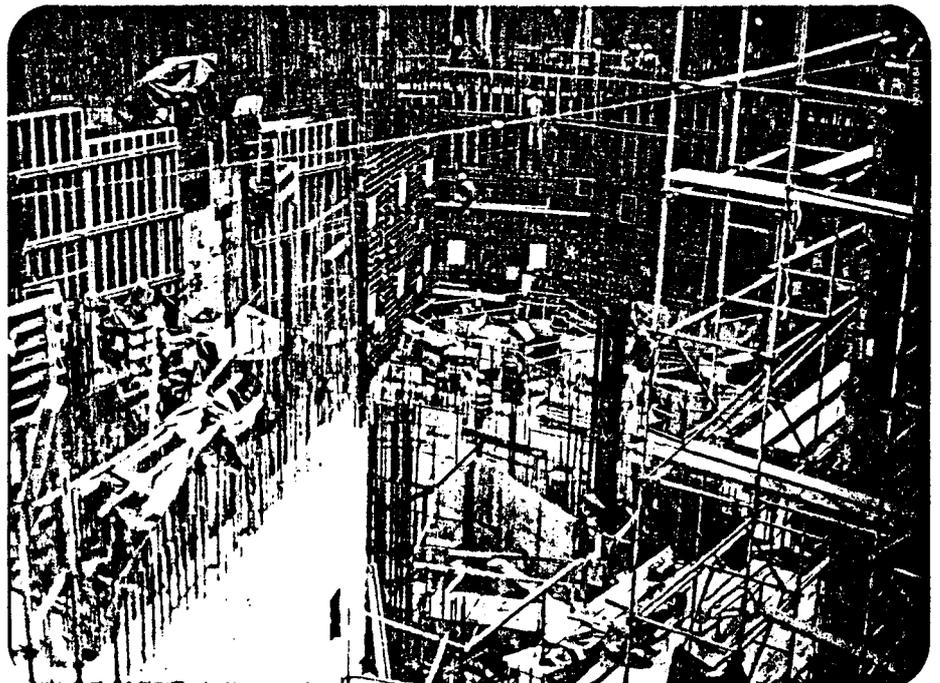
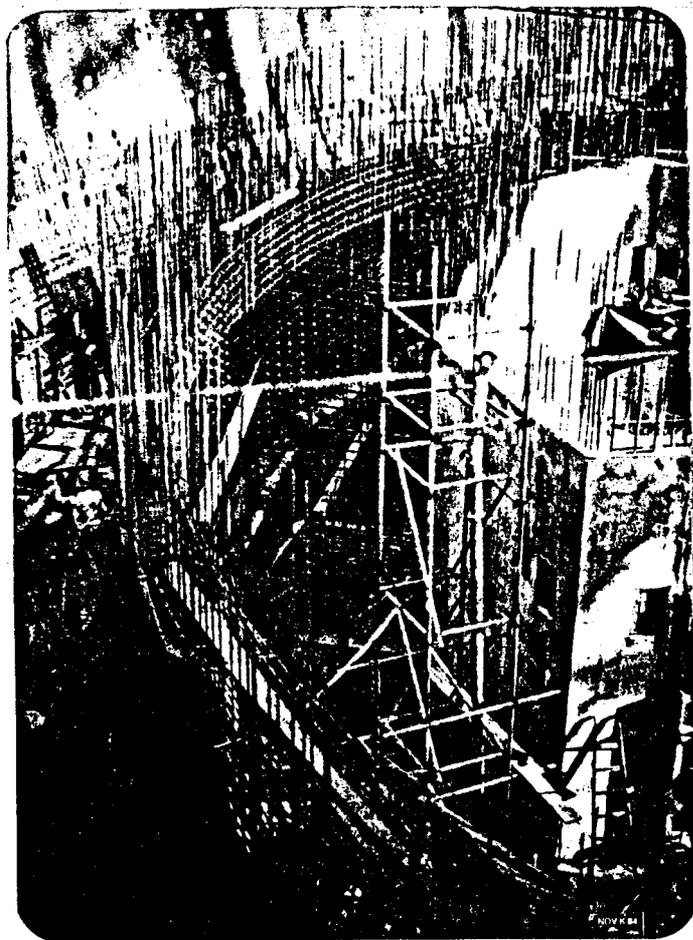


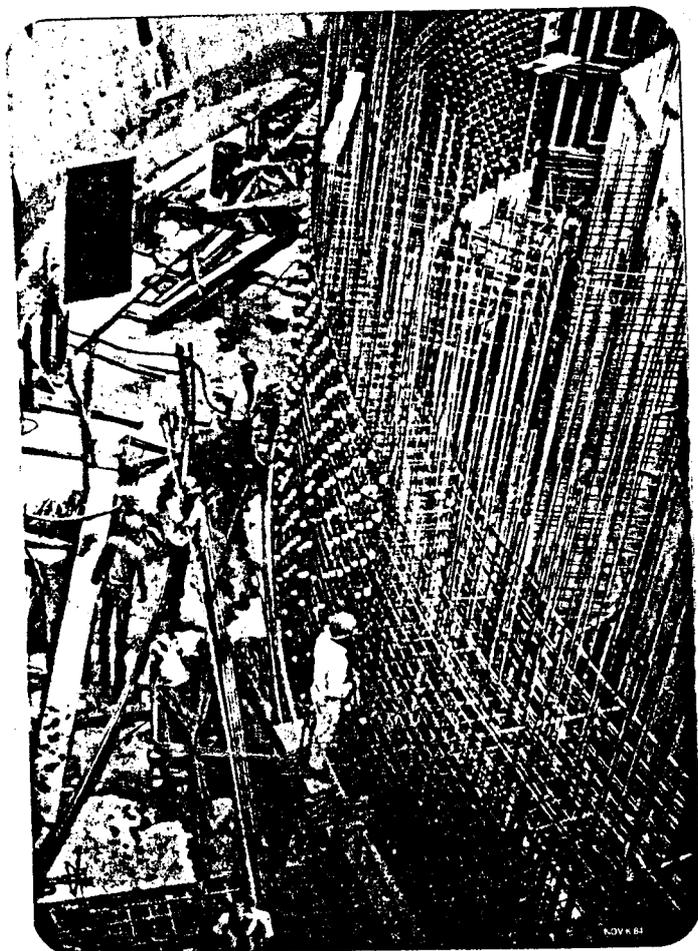
Fig. 22



A

Parede cilíndrica interna do envoltório de aço, - além de se constituir em - mais uma barreira de segurança, está destinada a sustentação da ponte rolante.

B



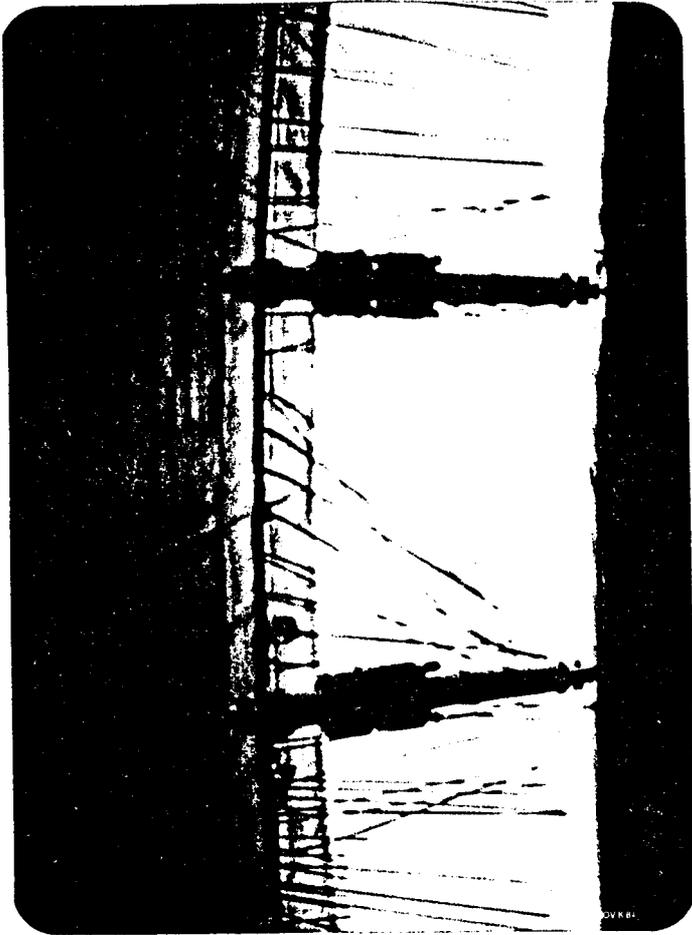
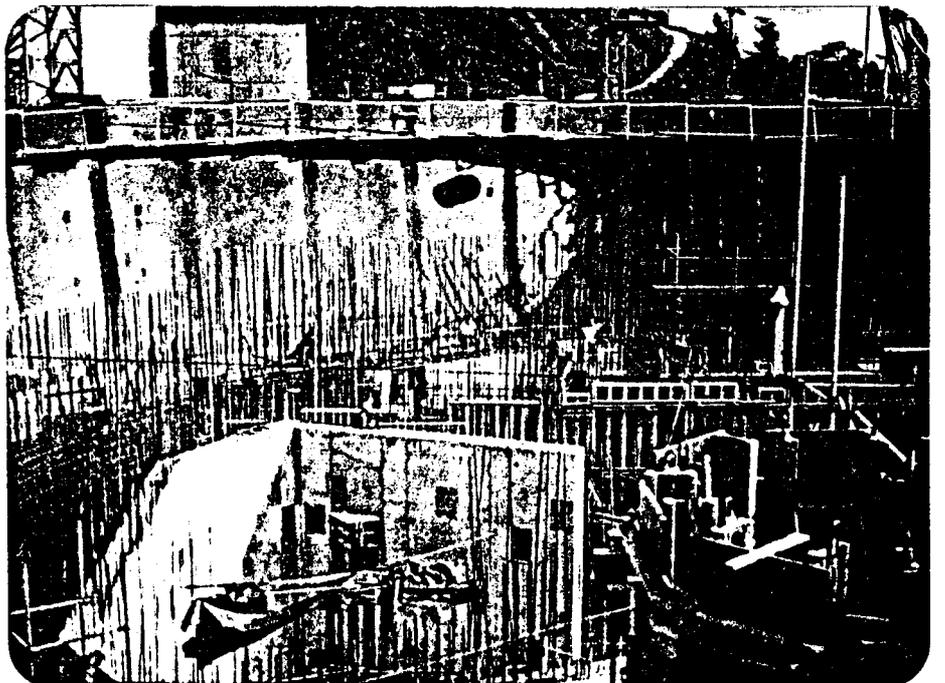


Fig. 23
Apoio do envoltório de aço
sobre o envoltório de concre
to.

Fig. 24
Todas as -
obras executa -
das no mesmo ní
vel em todos os
quadrantes.



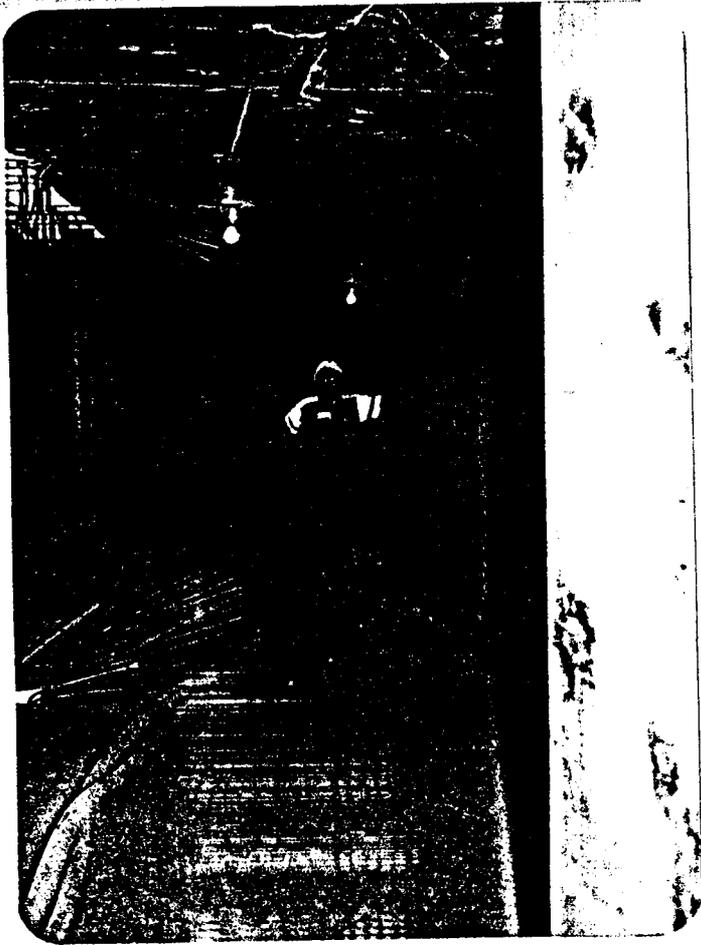


Fig. 25.

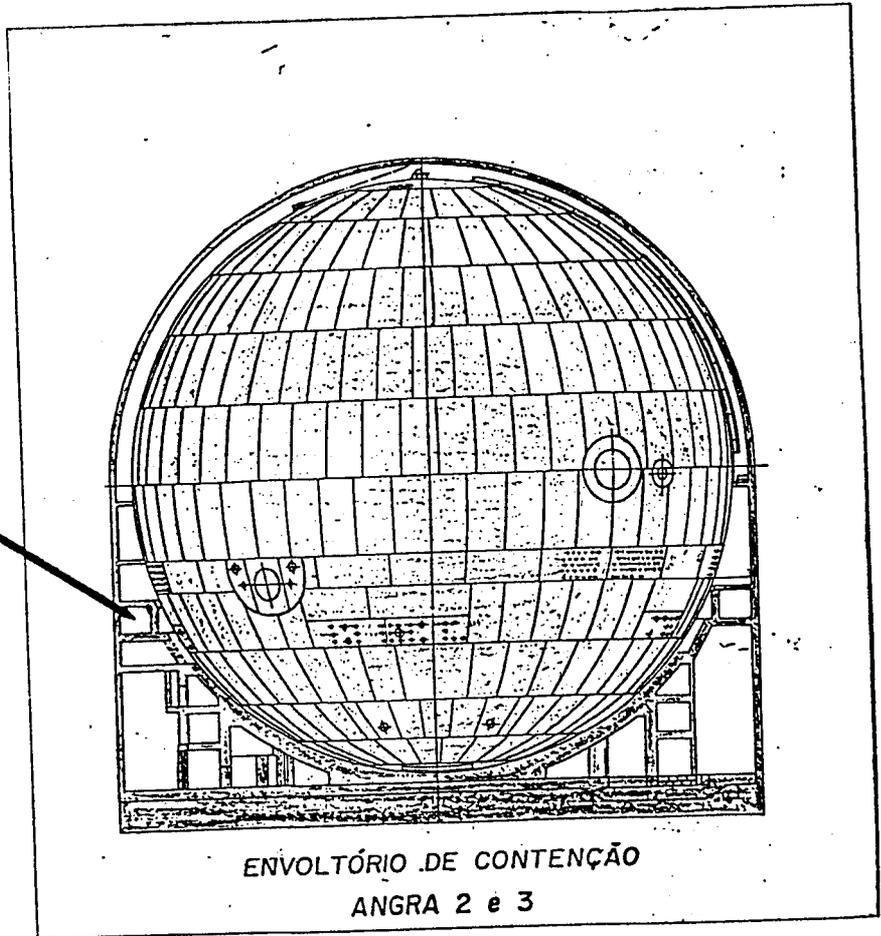
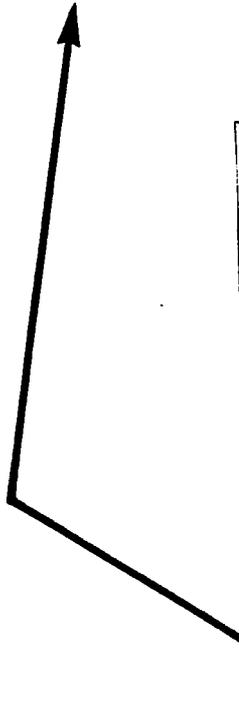
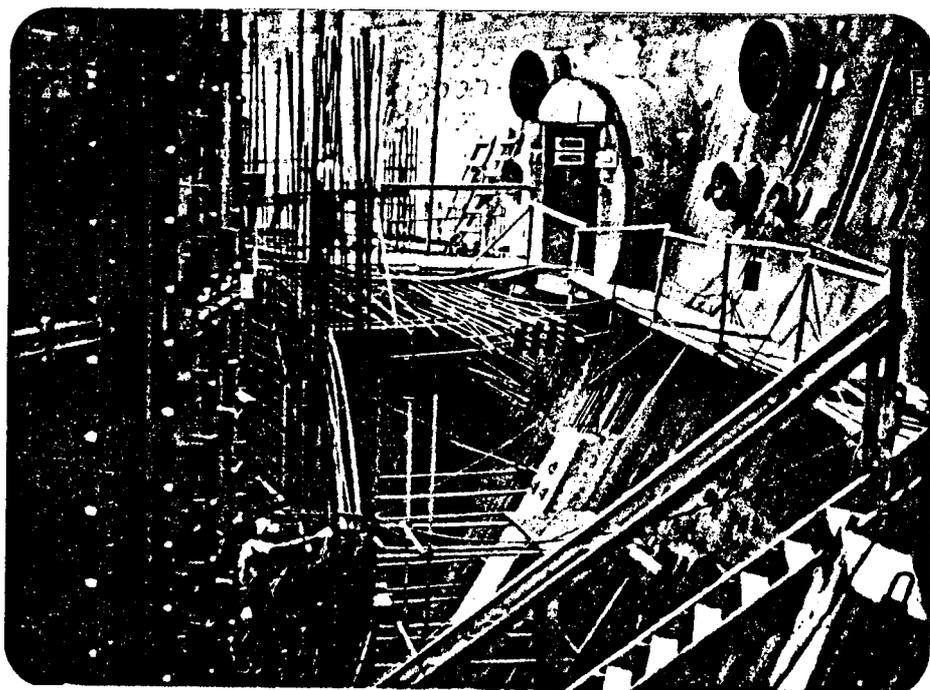


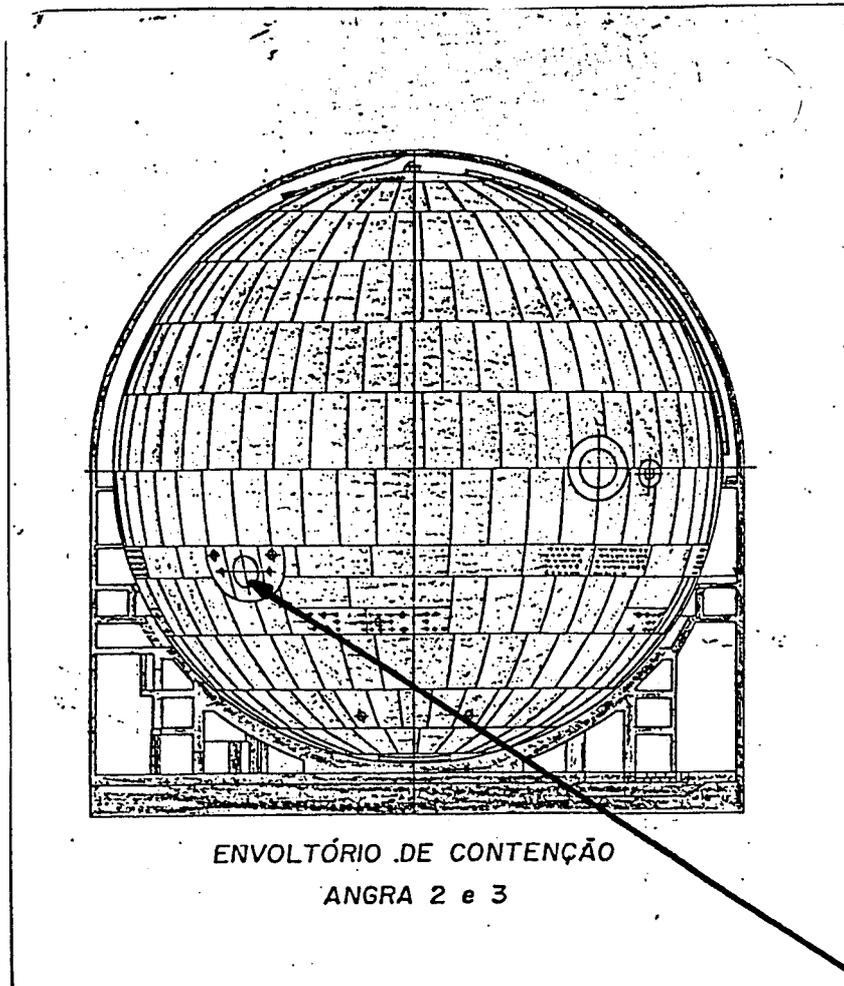


Fig. 26

Vista externa e interna
da entrada tipo escotilha -
para entrada e saída de téc-
nicos.

Fig. 27

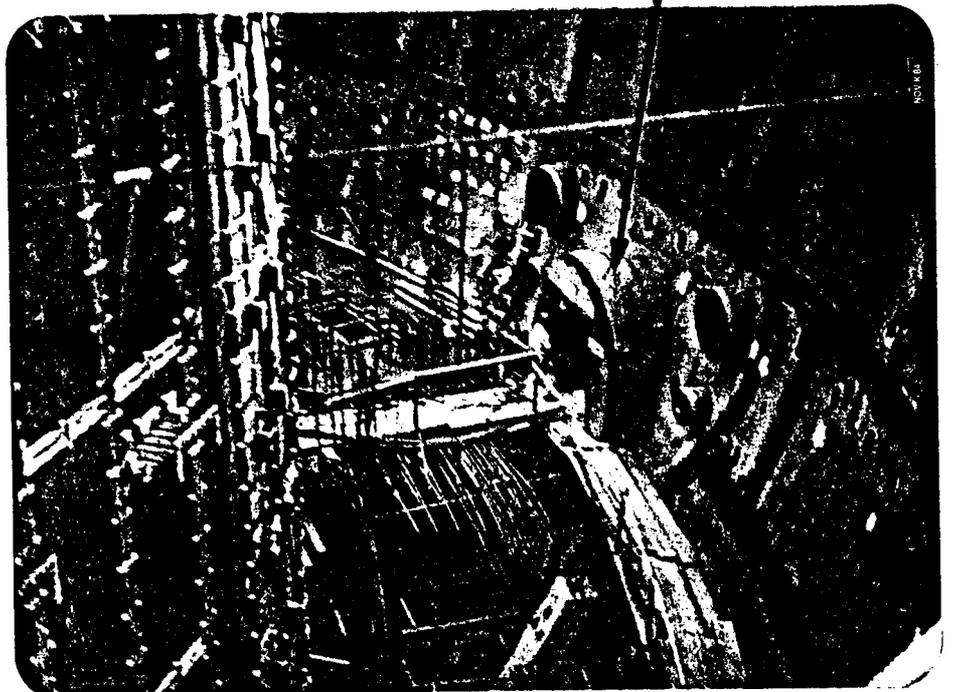




ENVOLTÓRIO DE CONTENÇÃO
ANGRA 2 e 3

Entrada tipo escotilha para acesso
de técnicos.

Fig. 28.



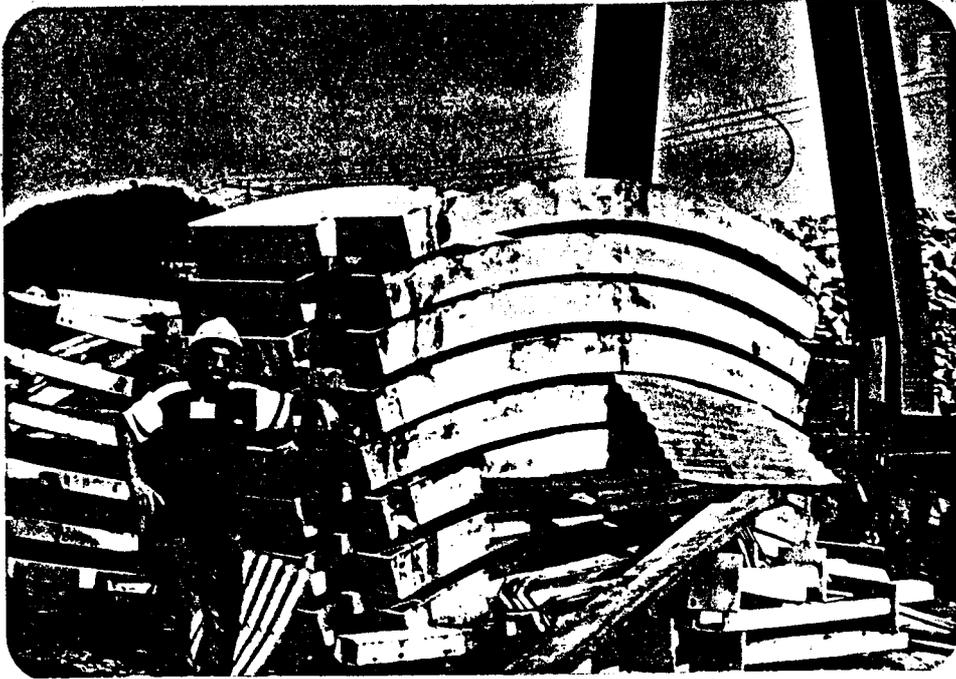


Fig. 29

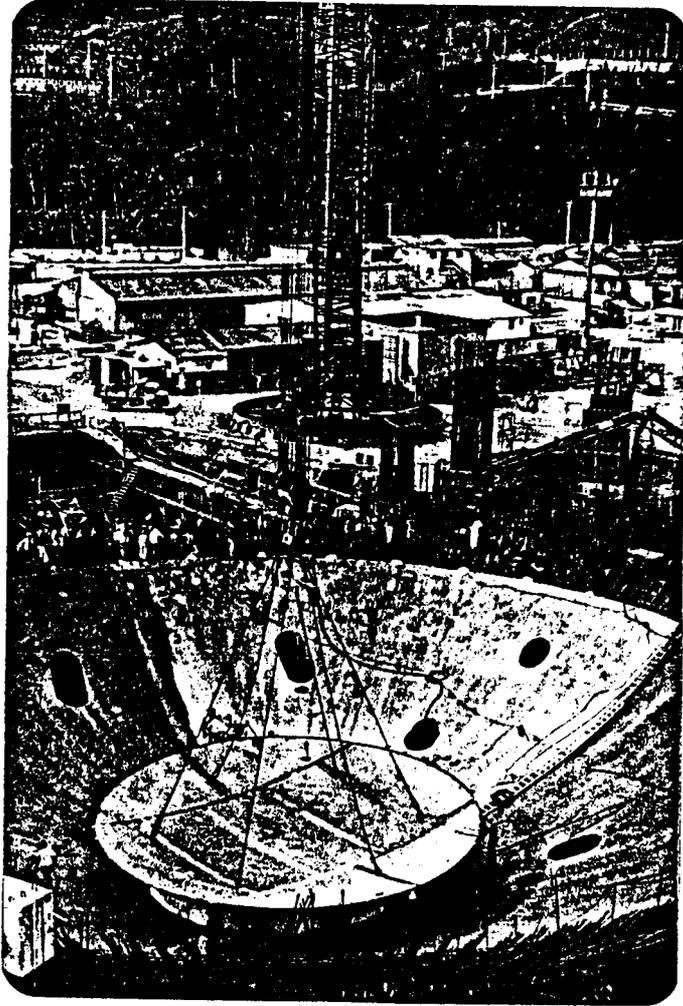
Apoio cilíndrico desmontado, que serviu de apoio inicial do envoltório de aço.

Fig. 30

Suporte guia utilizado na fase 5 da flutuação do envoltório.

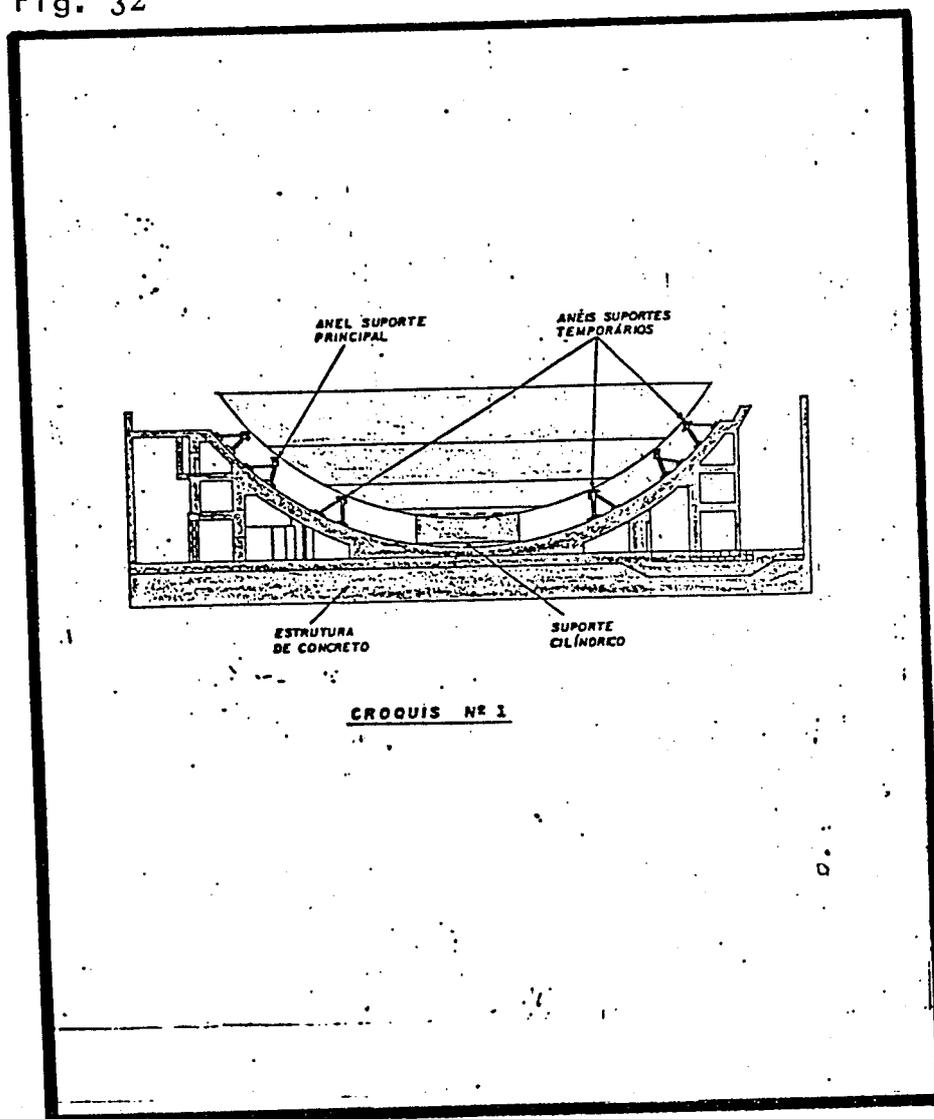


Fig. 31



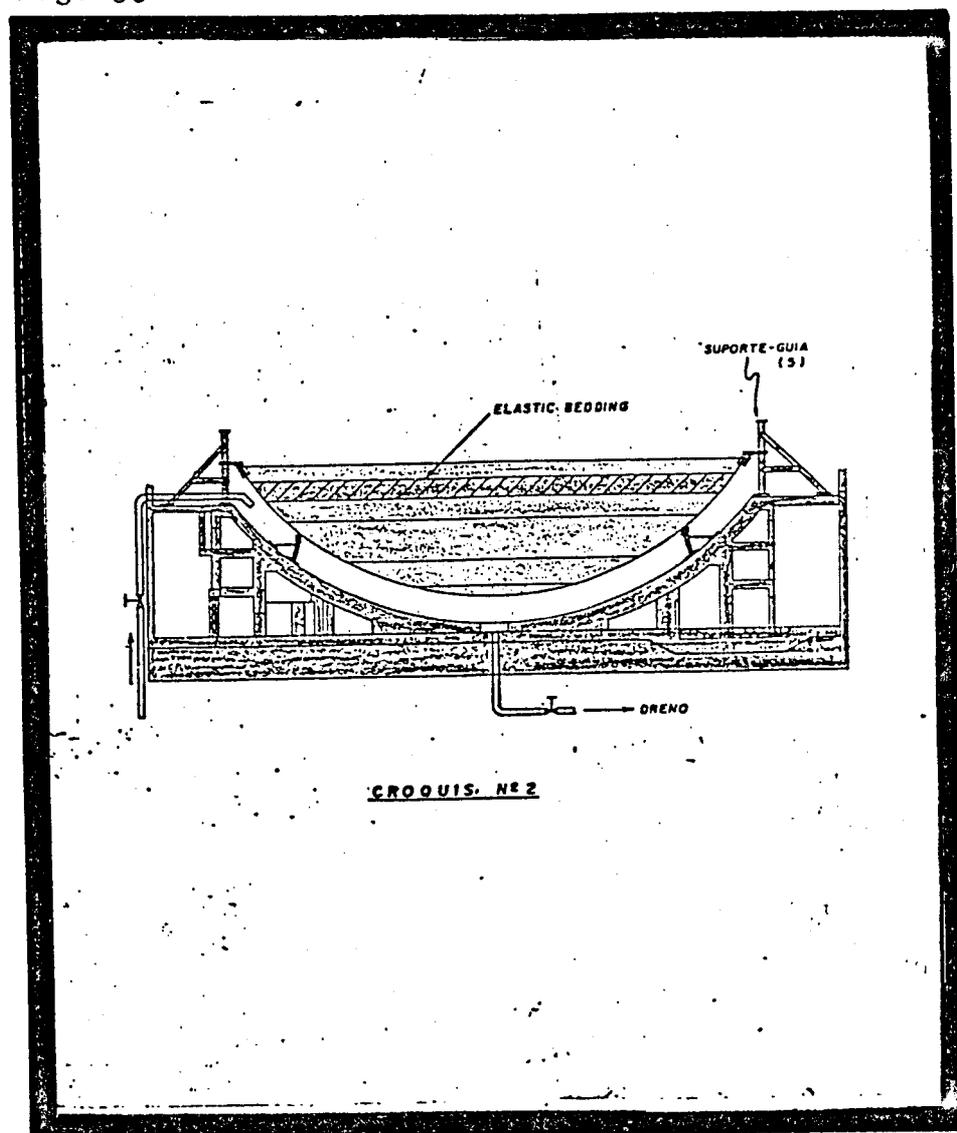
Início da montagem do envoltório
de aço.

Fig. 32



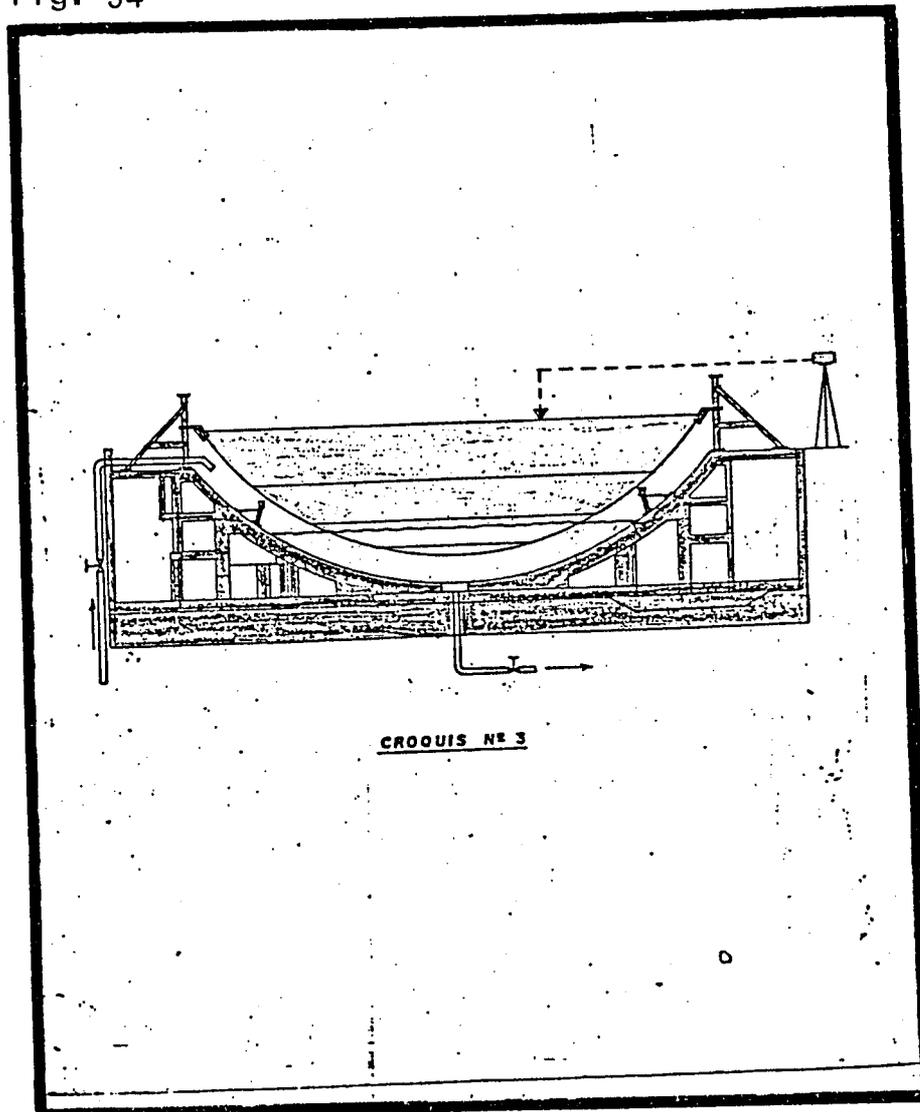
Envoltório de aço apoiado sobre o suporte cilíndrico e sobre 3 linhas circunferenciais - de anéis suportes, sendo 2 linhas temporárias e 1 principal.

Fig. 33



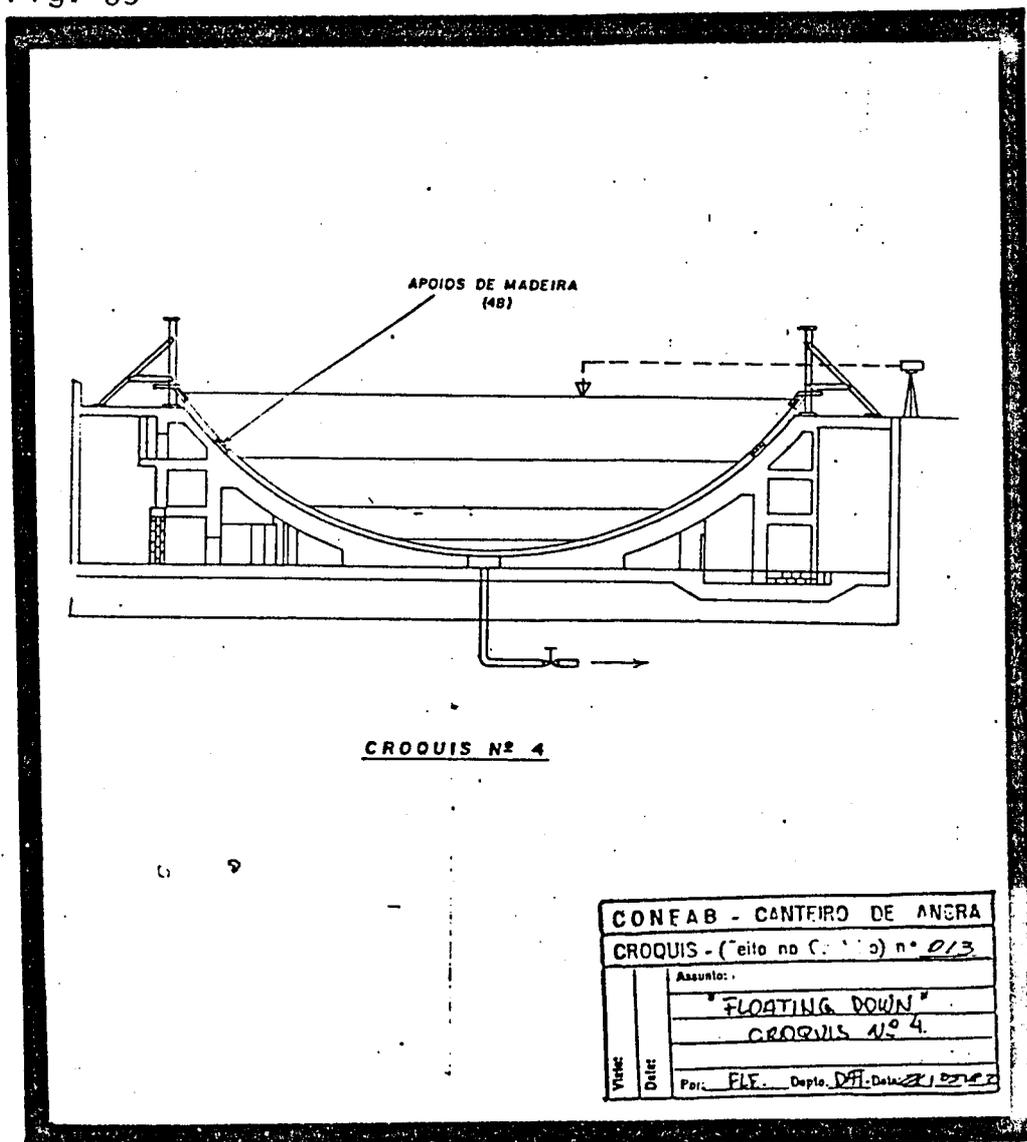
Retirados suporte cilíndrico e 2 linhas de suporte temporário, permanecendo a linha - circunferencial do anel principal e colocação do suporte-guia circunferencial.

Fig. 34



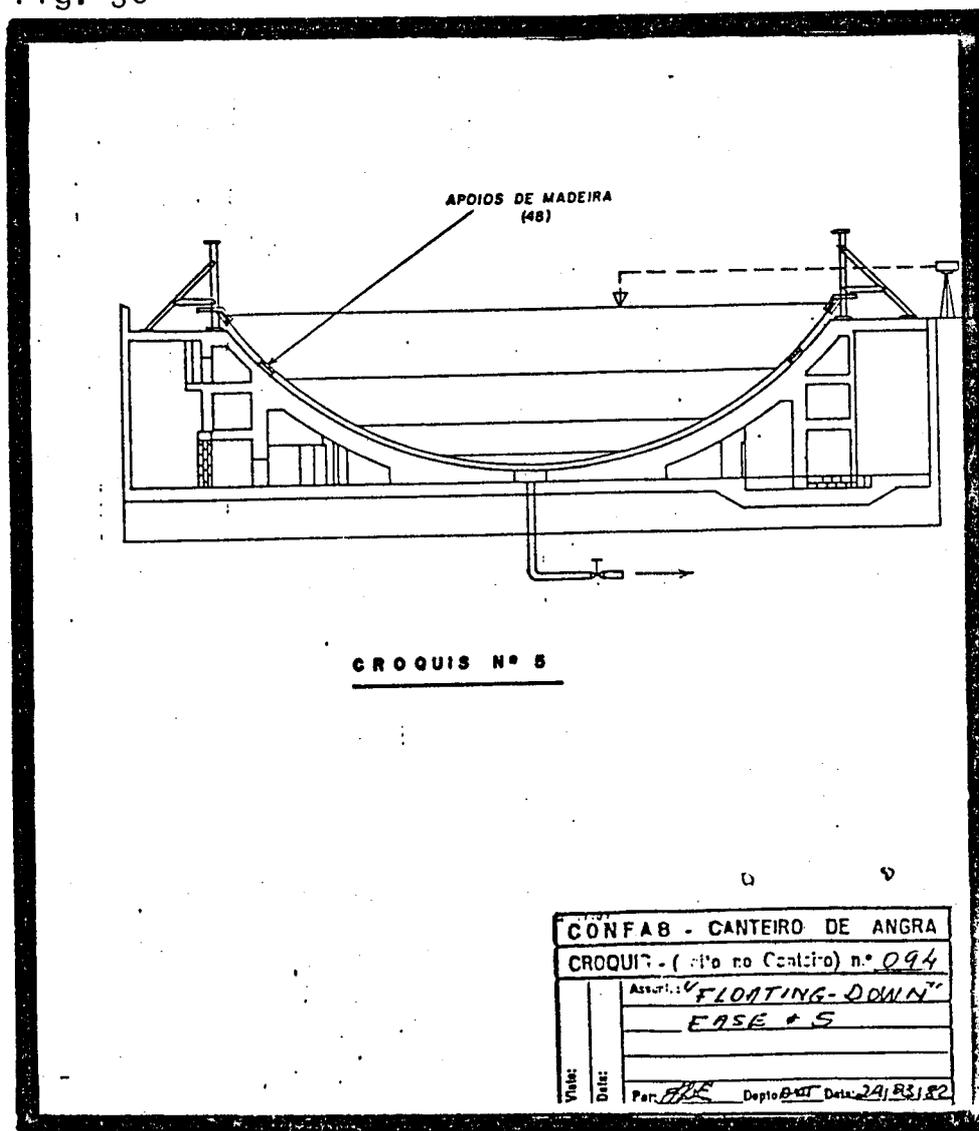
Enchimento da calota de concreto com água e retirado anel suporte principal.
O envoltório fica flutuando sobre a água.

Fig. 35



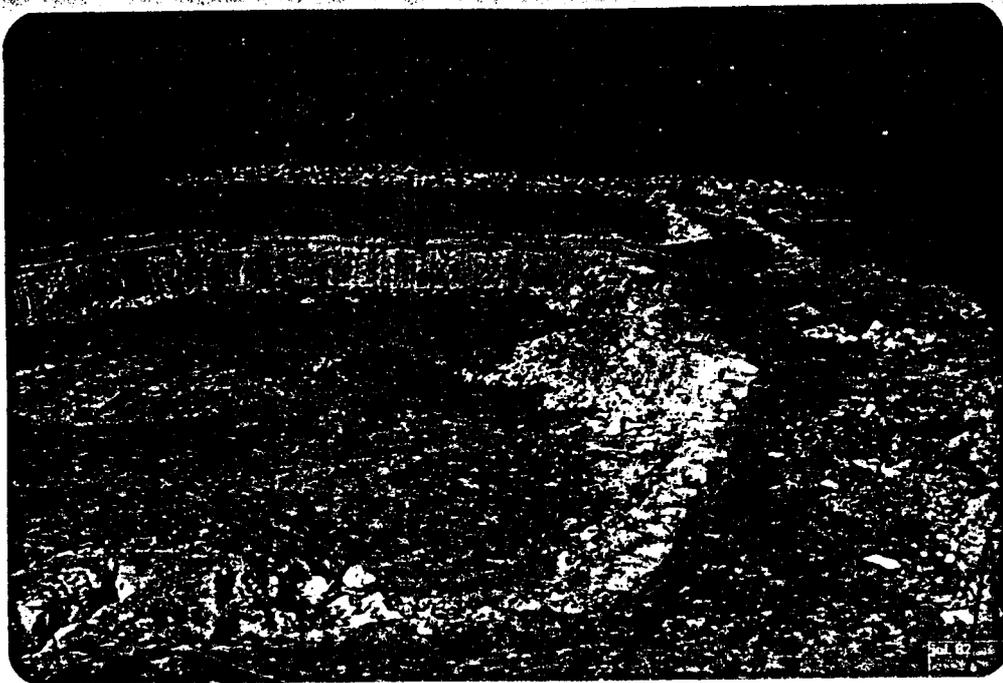
Retirada da água através de dreno existente no polo inferior calota de concreto, deixando que a estrutura se apoie sobre apoios de madeira - com altura de 20 cm.

Fig. 36



Preenchimento da camada existente entre a calota de concreto e a de aço com argamassa de assentamento.

Fig. 37



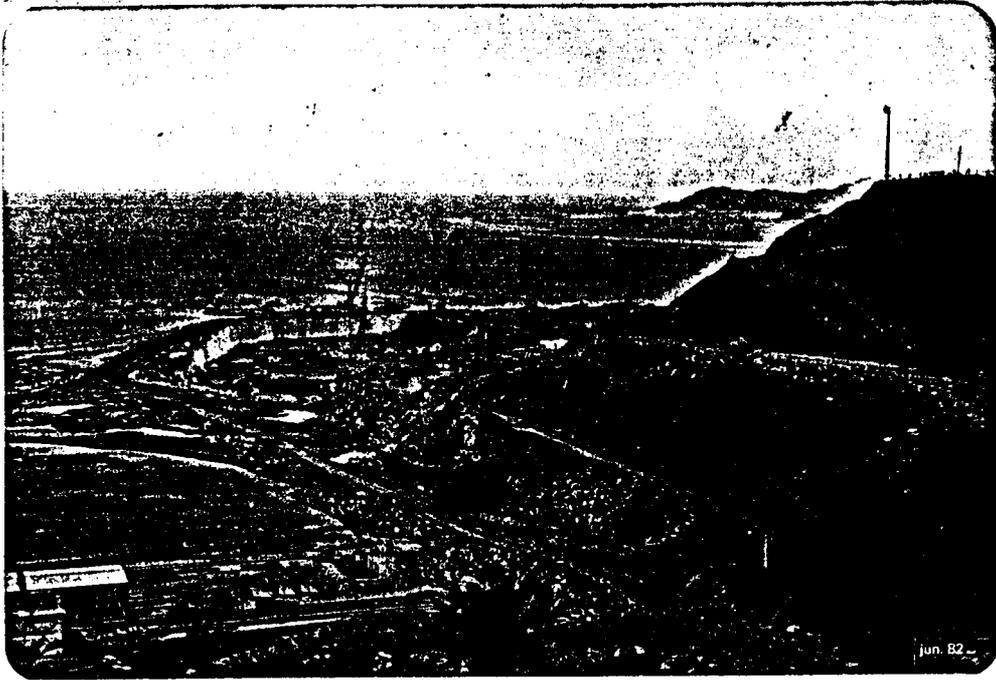
A

ESCAVAÇÃO DO LOCAL DA UNIDADE III E
CONSTRUÇÃO DO MOLHÉ DE PROTEÇÃO.

B



Fig. 38



A

ESCAVAÇÕES DO LOCAL A SER
IMPLANTADA A UNIDADE III.

B

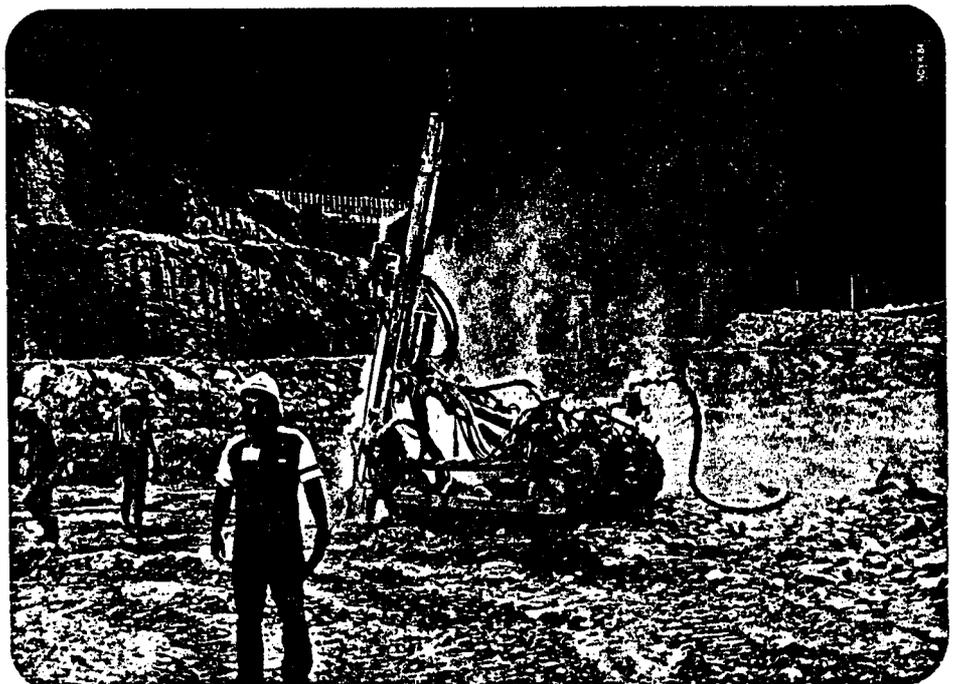


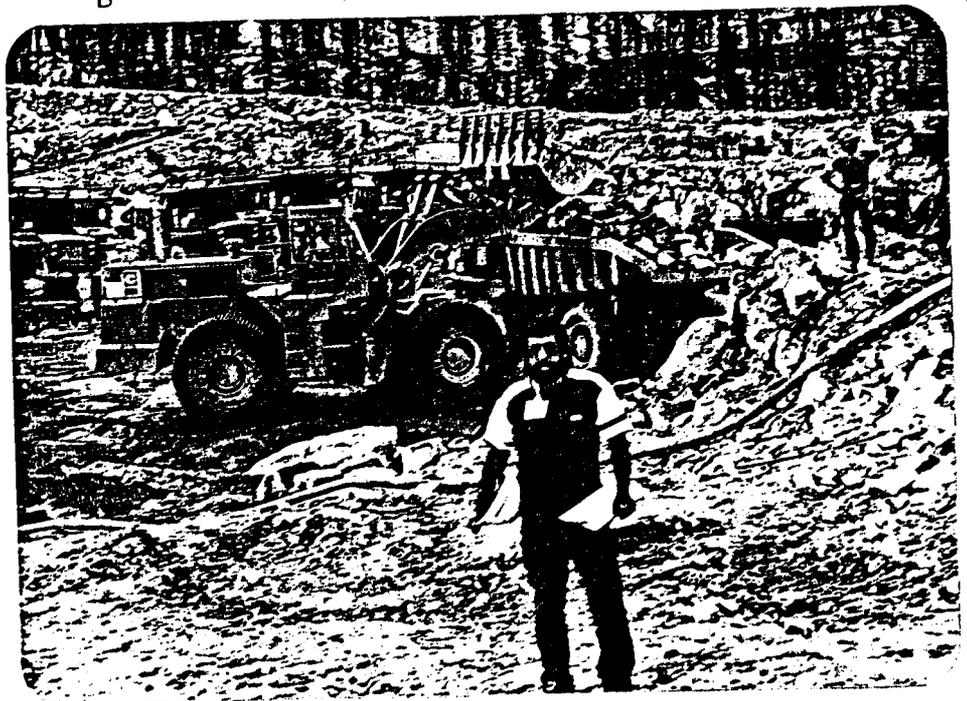
Fig. 39



A

ESCAVAÇÃO DA UNIDADE III

B



ENVOLTÓRIO

DE

ACC

- ENVOLTÓRIO DE AÇO -

As chapas necessárias para a construção do envoltório, tem seus componentes de aço produzidos no Brasil, são prensados em Moreira Cesar, Pindamonhangaba, na indústria da Confab. Cortados nas dimensões, sofre o processo de aquecimento e prensadas já nas dimensões e curvatura corretas. Posteriormente, recebe uma série de testes na fábrica.

Após a fabricação, são transportadas via terrestre. Chegando na obra são descarregados pelo pórtico de marca Torque, com capacidade para 40 toneladas e que atende todas as atividades por que passam as chapas, necessárias antes da sua utilização, estas atividades são realizadas num canteiro denominado canteiro de pré-montagem.

Após serem descarregadas, passam por um processo de aferição das medidas que já foram realizadas antes de terem saído da fábrica. Este controle dimensional, visa exclusivamente, verificar se não houve engano por ocasião da remessa.

O descarregamento é a operação de retirada das chapas das carretas, que as transportam, e a sua colocação em vagonetas sobre trilhos onde irão para a cabine de jateamento e pintura.

Nesta cabine as chapas recebem um jateamento com granalha de aço, através de equipamentos especiais de ar comprimido de alta pressão, e que dispõe de um dispositivo que capta novamente as granalhas com dimensões que ainda permitem uma nova utilização, sendo que, as granalhas que se fragmentam até o ponto de perderem a densidade e ficarem no ar como poeira, são captadas por um outro sistema composto de aspiradores gigantes e então, rejeitadas.

As paredes da cabine de jateamento são revestidas por uma borracha espessa de cerca de 8 mm., impedindo o contato direto da granalha com a parede.

Para a aplicação, existe uma roupa

especial para o jateador.

Nessa fase, as chapas após recebem o jateamento, ficam com a superfície uniformizada, pronta para a pintura.

Durante toda essa operação, as chapas permanecem sobre os vagonetes, que se deslocam através dos trilhos.

Através dos trilhos, elas são deslocadas na mesma direção e sentido, para a cabine de pintura, onde recebem um isolamento com fita "crepe" em toda a periferia, de aproximadamente 10 cm., que ficará sem receber pintura, para permitir que no instante de sua montagem definitiva, seja soldada.

Recebe, portanto, a pintura em uma demão de Primer Etil Silicato, rico em zinco, de fabricação das Tintas Internacionais S.A. Consiste de uma tinta especial, resistente a altas temperaturas, composta de dois componentes, a tinta em si, associada a um catalizador.

Após a pintura, as chapas vão para um pátio onde permanecem em período de 24 horas, como um processo para a cura da tinta.

Após a cura, as chapas recebem umas marcações referentes ao número das juntas e número das chapas, executadas em cores vivas, para facilitar a identificação.

Isto feito, as chapas são retiradas dos vagonetes e colocadas, também, pelo pórtico, sobre dormentes de madeira, evitando que as mesmas fiquem em contato com o solo.

Assim que se tenha uma chapa par, e formando o casal, que já tenha passado por todas as etapas do processo até agora descrito, as mesmas são colocadas em uma mesa baixa, contendo a curvatura das duas chapas, onde é iniciado o processo de solda. Após a justaposição das duas chapas, é feito um ponteamto a cada 50 cm. e com 30 cm. de comprimento, mantendo-as unidas.

Feito o serviço de ponteamento, segue-se uma solta contínua, chamada de solda raiz, com a finalidade de formar uma base de apoio da solda definitiva.

Após executada a solda raiz, as chapas são retiradas da mesa baixa e levadas através do pórtico para a mesa alta basculante, que dispõe de um dispositivo com cabos e roldanas que vão variando a curvatura da mesa a fim de mantê-la nivelada a medida que a solda vai sendo executada.

A solda é feita através de uma máquina automática que caminha sobre um trilho colocado sobre as chapas que serão soldadas. A fixação dos trilhos é feita através de imãs e a variação da curvatura tem como objetivo estar sempre nivelando a máquina de solda sobre os trilhos.

Antes de dar início à soldagem definitiva das chapas, são soldados nas duas extremidades das mesmas, e ao longo do cordão de solda, um suplemento de chapa com posto do mesmo material da chapa, de mais ou menos, 20 cm., que serve para início da solda, garantindo assim, a continuidade da solda. São colocados também, abaixo das chapas uma série de bicos de gás injetados com ar para dar pressão à chama, com a finalidade de deixar a superfície a ser soldada com uma temperatura própria para o recebimento da solda, em torno de 175° C a 220° C, que é verificada através de dois lápis especiais que se derretem no intervalo dessas temperaturas.

A máquina de solda possui um ponto luminoso projetado na superfície a ser soldada, que indica o caminho que será seguido pela solda, possibilitando fazer uma verificação deste caminho, quando da colocação da máquina sobre os trilhos, de maneira que se houver qualquer diferença, possa ser corrigido antes de dar início ao processo da solda.

A solda é feita através da máquina automática de uma maneira um pouco diferente da convencional, nesta os materiais que formariam o eletrodo convencional são se parados de forma que o fluxo é em pó e fica em um compartimento

na máquina e vai sendo depositado junto com a solda à medida que a máquina caminha, o mesmo acontecendo, também, com o material constituinte da solda propriamente dita, que é chamado de arame de solda, que fica em um rolo na máquina e vai sendo desenrolado automaticamente, de acordo com a velocidade da máquina que é controlada pela relação entre voltagem e amperagem.

A solda é executada por uma equipe especializada e cada solda é protocolada. Desta maneira, cada solda tem um histórico completo arquivado para posterior conferência.

Nesta fase, como já havíamos descrito, as chapas se encontram em uma mesa côncava e, portanto, a solda efetuada foi a interna, que recebeu aproximadamente 15 a 18 cordões de solda, necessários para o enchimento completo da parte interna.

Terminada a solda côncava, a chapa é retirada através do pórtico, virada, e colocada em uma outra mesa, também basculante, mas agora, uma mesa convexa, para se proceder a soldagem na parte externa das chapas.

Antes de proceder à soldagem, é necessário proceder a retirada da solda que foi executada para se fazer a ponteação e a raiz, o que é executado através da chamada "goivagem" que por sua vez, é feita com eletrodo de carvão ou grafite e ar comprimido para expulsar o material cortado com o eletrodo, pois, a tendência do material cortado é permanecer no local.

Para se efetuar o corte, objetivando a retirada do material que serviu para ponteação é necessário também, o pré-aquecimento das chapas através dos bicos de gás com ar comprimido que exige uma temperatura mínima de 80° C antes de se efetuar o corte.

Após se ter efetuado o corte a superfície é lixada e esmerilada para limpar e uniformizar o corte, uma vez que, o corte a carvão é irregular. Para tal operação

existe um gabarito.

Terminada a limpeza e uniformização é feito sobre o corte, um teste de partícula magnética, chamado de MT pós goivagem.

A partir daí, repetimos as mesmas operações de solda descritas para a parte côncava com a diferença que serão utilizados menos cordões de solda para o enchimento completo, visto que, o espaço a ser soldado é menor na parte convexa do que na parte côncava.

São soldadas, também, na parte externa, alças de içamento, perpendicularmente à superfície da chapa, para durante a montagem servir para colocação do apoio ligando o envoltório de aço ao envoltório de concreto, além de permitir a movimentação dos conjuntos durante todas as operações.

Terminada a fase de solda, a chapa é retirada da mesa e colocada sobre dormentes onde receberão o esmerilamento com disco, com a finalidade de retirar o excesso de solda, permitindo, assim, uma superfície uniforme.

Neste local, estando a chapa apoiada sobre dormentes, passa a receber os testes não destrutivos para se garantir o serviço de solda efetuado, que consiste no teste de partícula magnética (MT) em ambos os lados, o teste de ultrassom (UT), realizado em apenas um lado, e o teste de raio X (Rx).

É de se notar que até agora foram soldadas duas chapas, formando um par e que posteriormente são soldada a elas mais duas chapas que passaram pelo mesmo processo e formam outro par, ficando a peça final, composta de quatro chapas, chamadas de conjunto.

Feito isto, esta chapa final composta de quatro chapas (conjunto) é transportada desde o canteiro de pré-montagem, através de carretas especiais, para a área de montagem,

Na montagem existe um guindaste

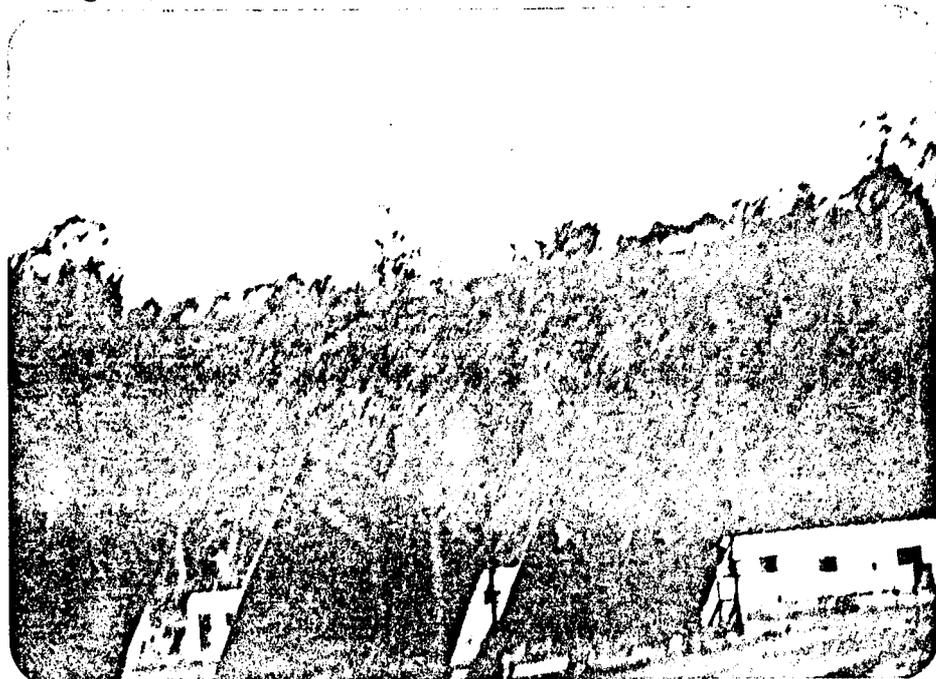
com aproximadamente 140 metros de comprimento de lança e com capacidade de 600 toneladas, marca Manitowoc, que apanha a chapa da carreta e a coloca na posição final justaposta a anterior e que sofre uma solda com as mesmas características da recebida no canteiro de pré-montagem, com a diferença que, na montagem final a solda é feita com os mesmos materiais, mas, executada manualmente, na solda vertical interna e externa. E igualmente, com máquina automática na solda circunferencial interna, até o equador, e externa, do equador até o topo da esfera, formando um anel que também é chamado por zona.

A execução do envoltório de aço é completamente independente da execução do envoltório de concreto, assim é que, quando o envoltório de concreto havia atingido uma calota com altura igual a metade do equador é que foi colocado o envoltório de aço, cuja colocação chamou a atenção de todo o pessoal envolvido na obra, chegando a merecer notícia na revista da Nuclebrás, do dia 15 de Abril de 1.983.

O processo de colocação da calota de aço, denominado "floating Dow", descrito juntamente com o panorama geral sobre Angra II e Angra III.

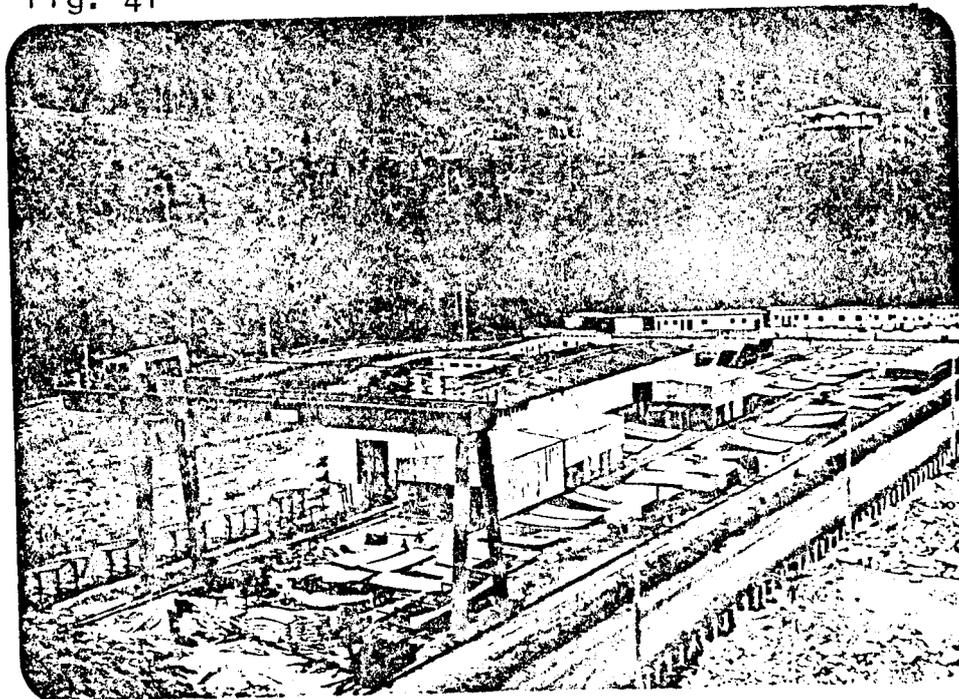
A N E X O

Fig. 40



Chapas recém-descarregadas a caminho da secção de conferência de medidas e posterior jateamento.

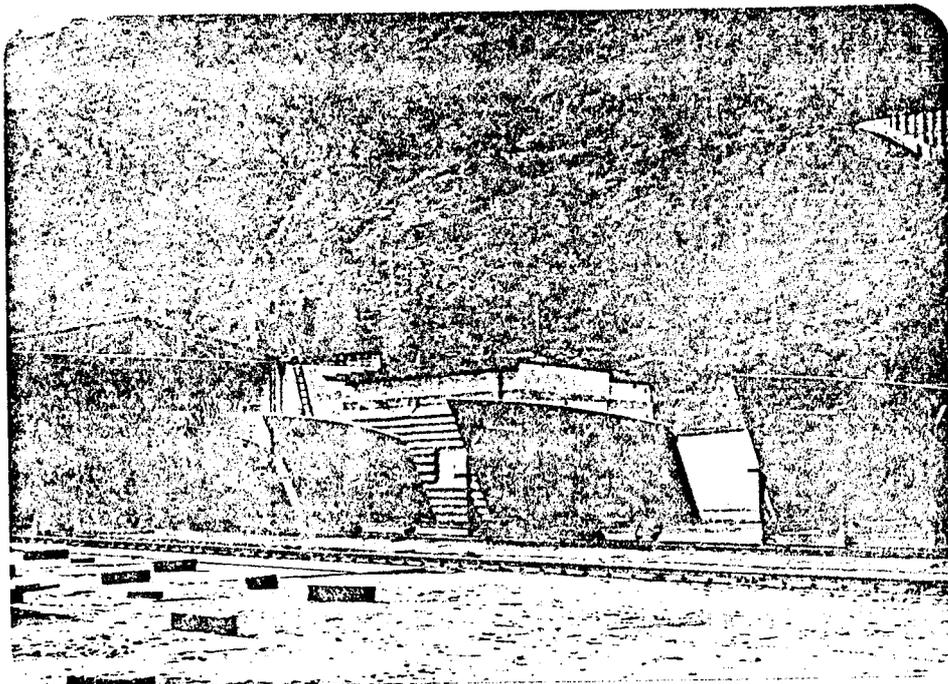
Fig. 41



Vista geral canteiro de pré-montagem.

Fig. 42

A



Chapas entrando na secção para conferência de medidas e posteriormente, jateamento e pintura.

B

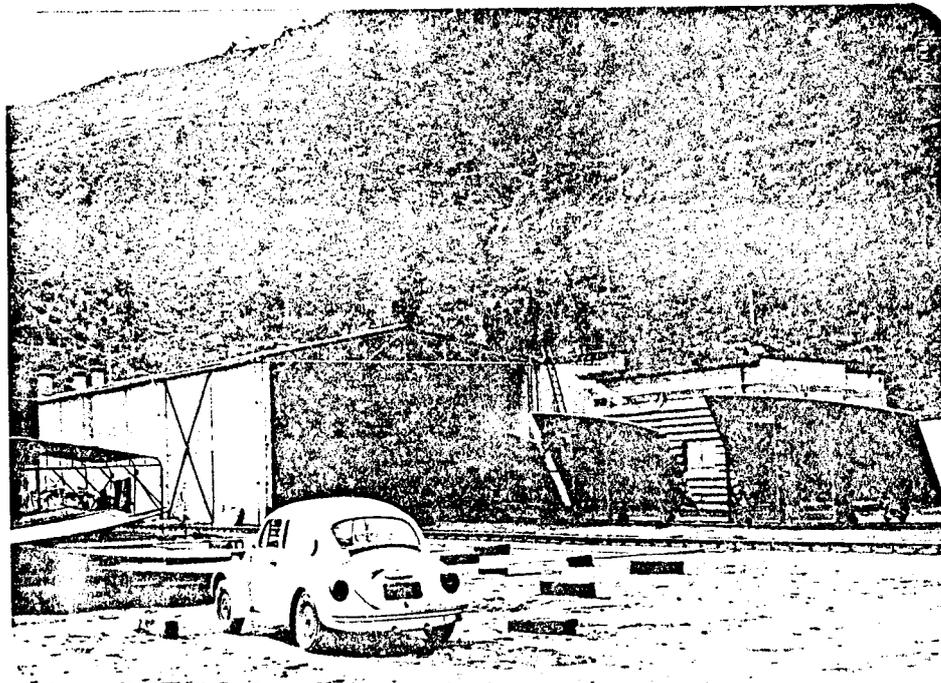


Fig. 43

Painel de controle
sistema de aspiradores.

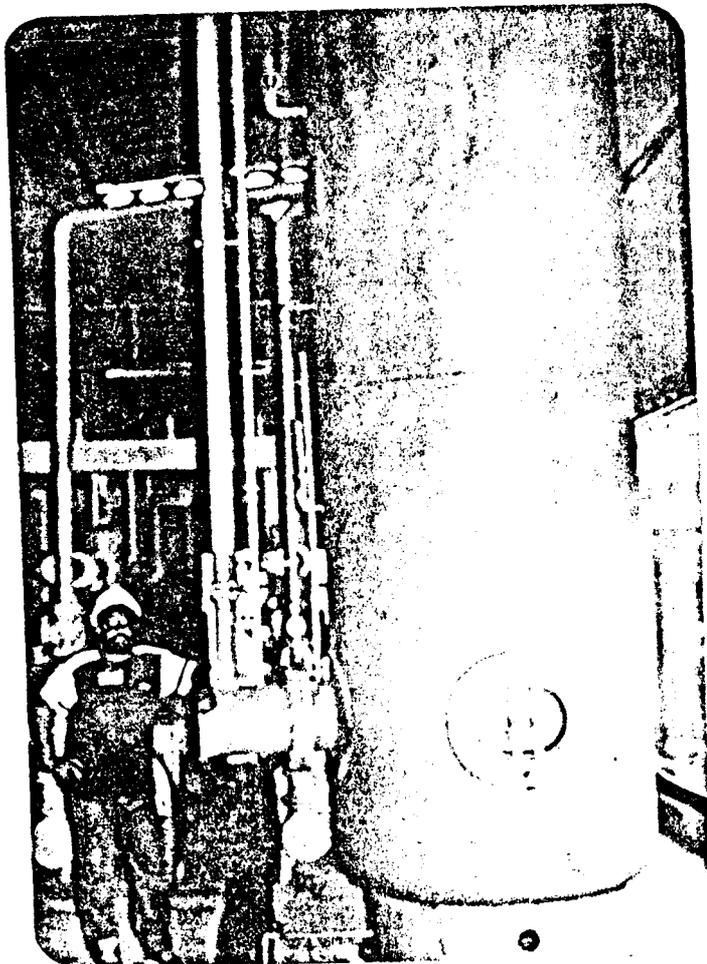
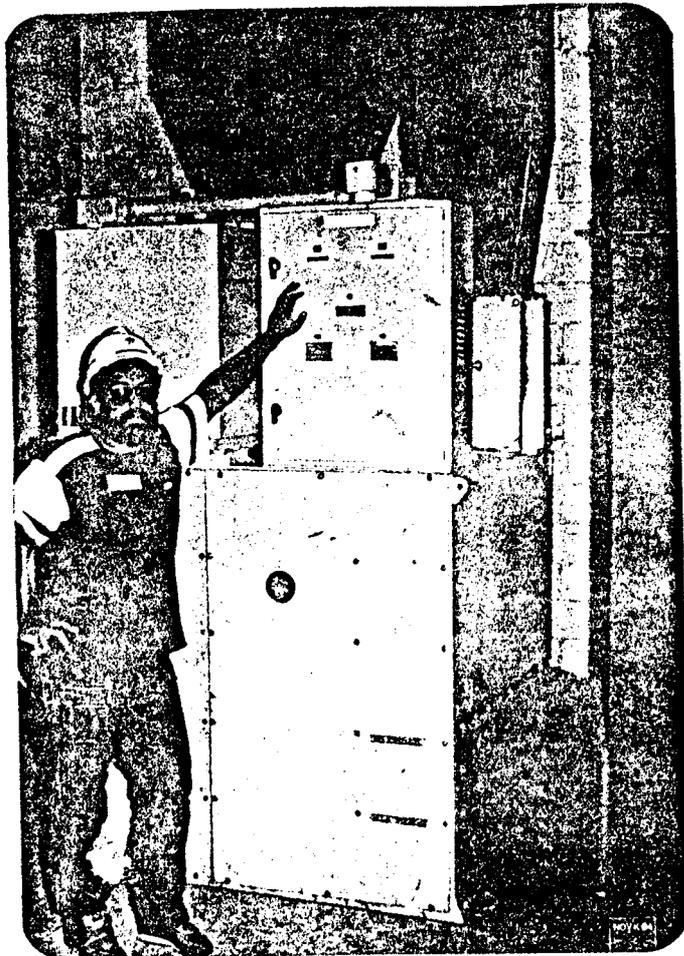
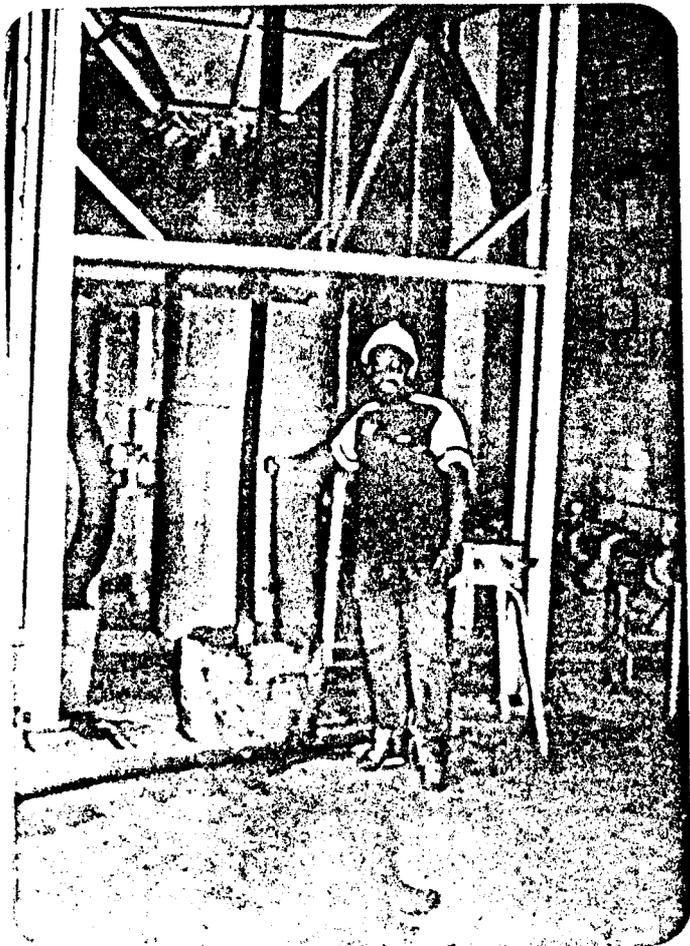


Fig. 44

Reservatório Ar.

Fig. 45



A

Materiais de jateamento
rejeitados para novo uso.

B

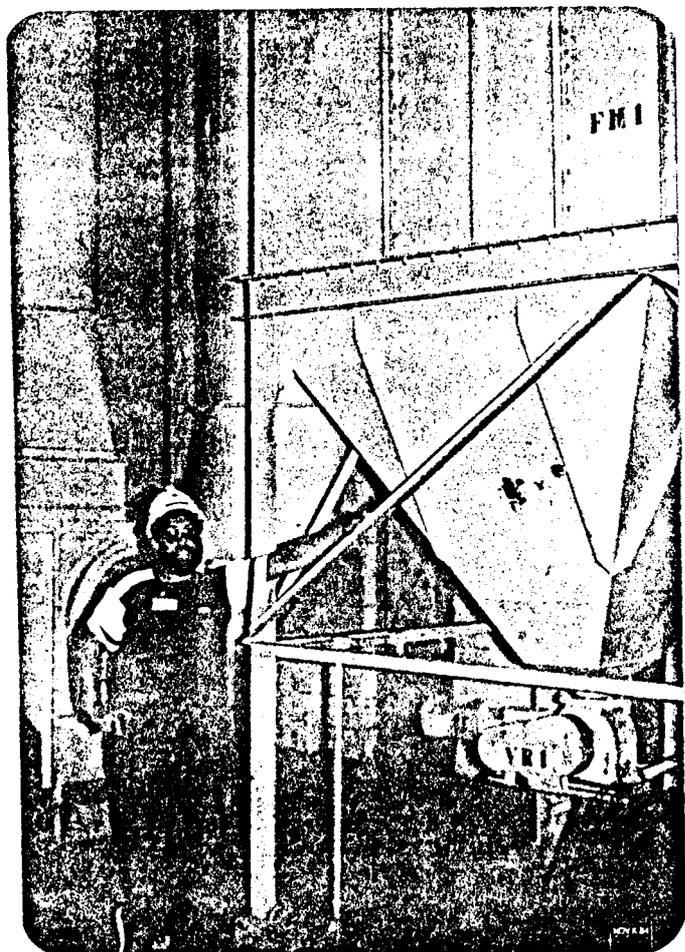


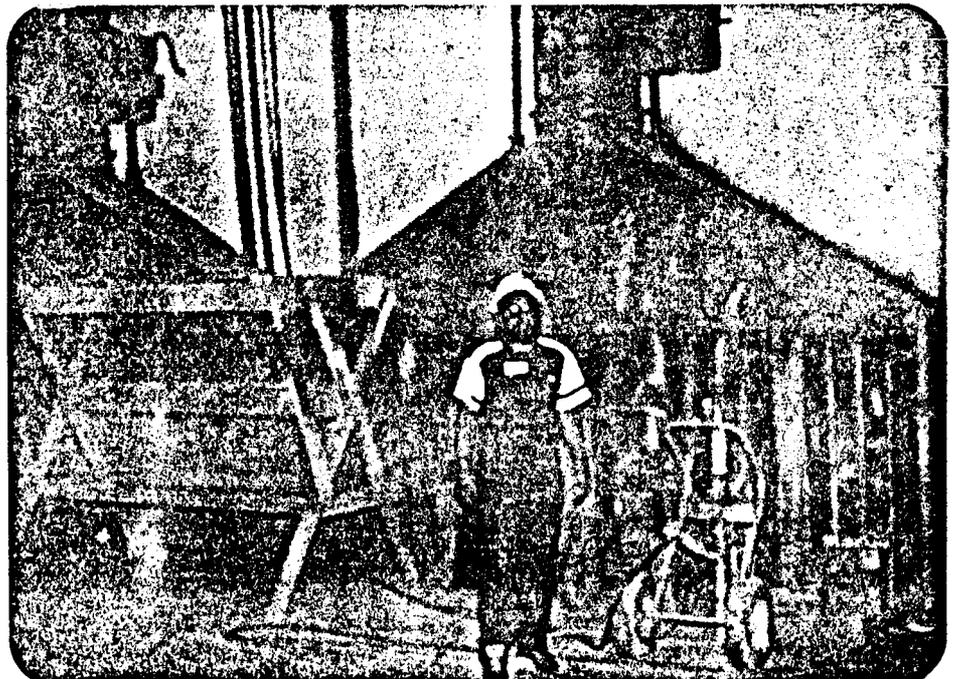


Fig. 46

Sistema de compressores para geração de ar para -
jateamento, aspiradores, -
pintura, aquecimento, sol-
dagem.

Fig. 47

Salão de
pintura das
chapas.



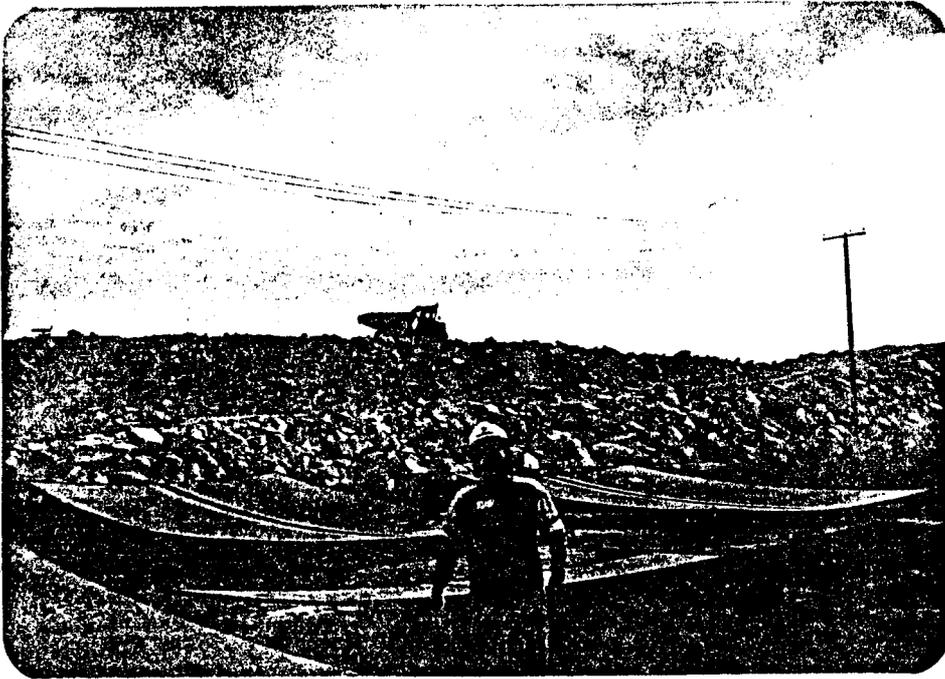


Fig. 48

A - duas chapas soldadas apoiadas sobre dormentes de madeira.

B - chapas que saíram da secção de pintura apoiadas e transportadas sobre vagonetes.

Fig. 49

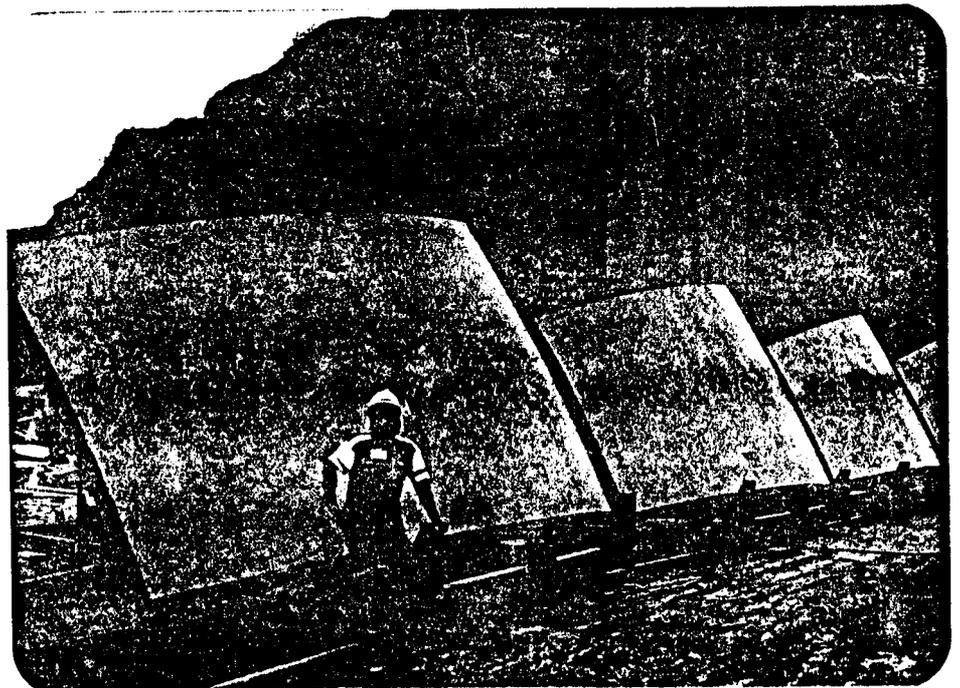
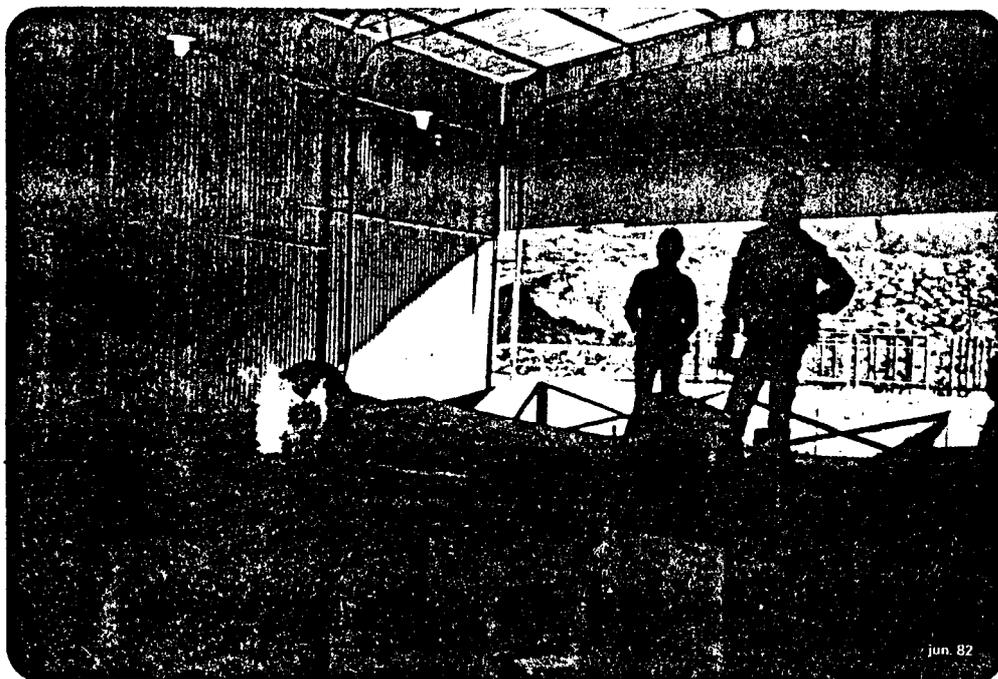


Fig. 50



Ponteamento para posterior soldagem com a máquina automática.

Fig. 51



A

Execução de uma soldagem da parte interna de duas chapas, aparece a máquina assentada sobre um trilho que por sua vez, é fixado nas chapas através de imãs.

Execução de uma soldagem da parte externa, aparece detalhes da máquina de solda automática.

B

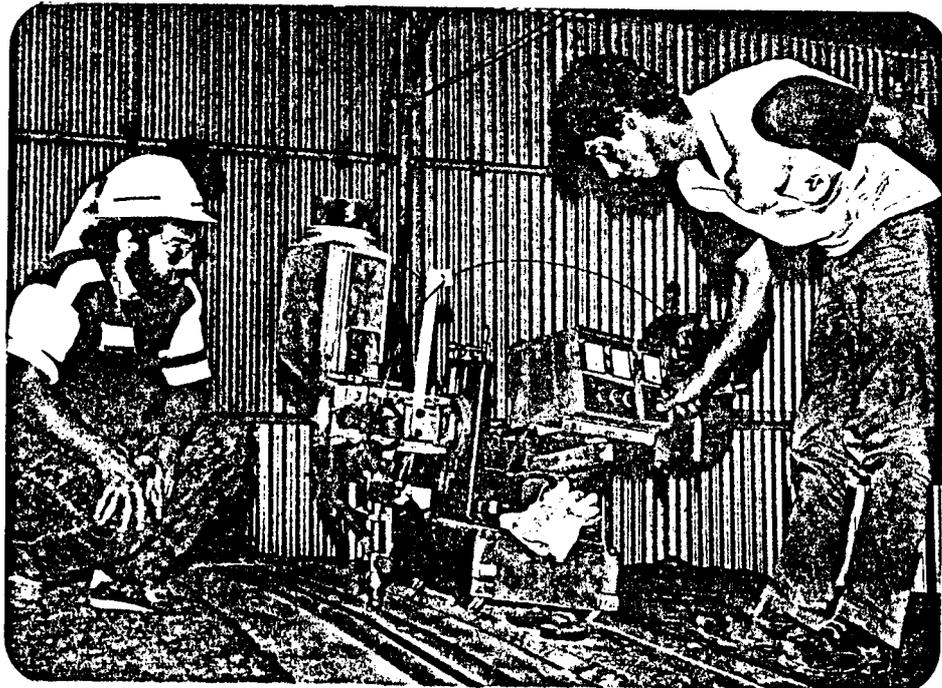
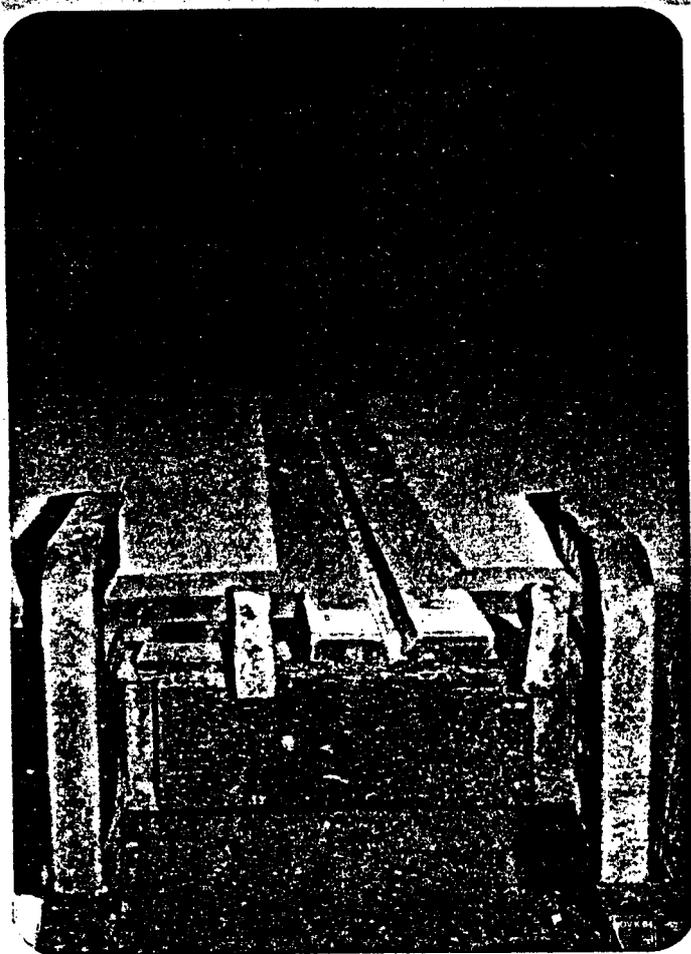


Fig. 52

A- Suplemento adicionado para
início da solda.



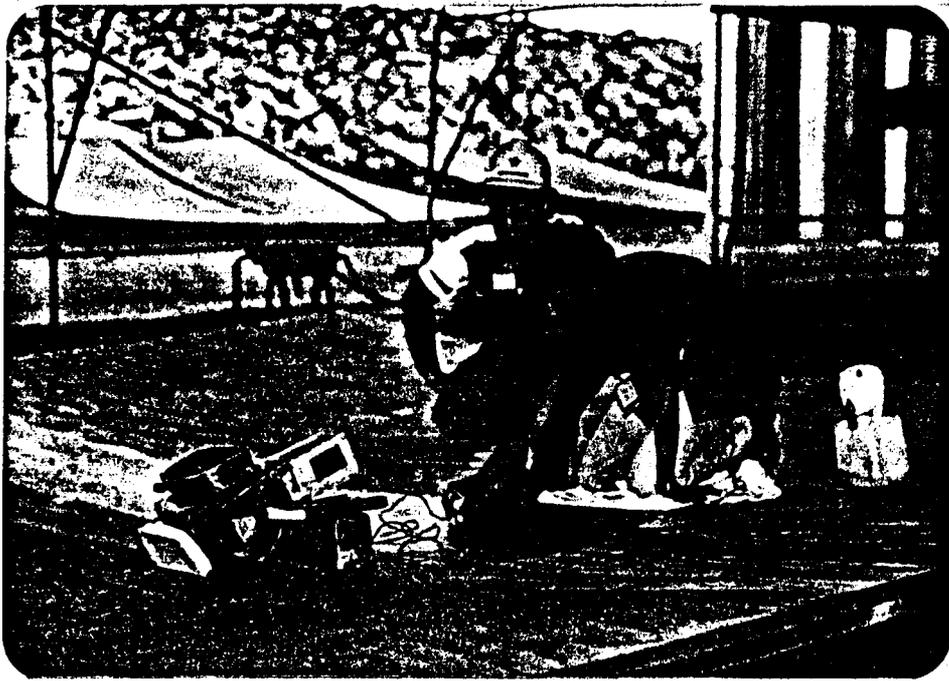
B - Bicos de gás aquecendo
a chapa por baixo.



CONFAB		PROTOCOLO DE SOLDAGEM WELDING RECORD			NR CONSEC. CONSEC. NO.		
NUCLEN					RELATÓRIO Nº REPORT NO.		
DEPTO. CONTROLE DA DEPARTM. QUALIDADE		USINA ANGRA II JMA 00BB001			FOLHA DE SHEET OF		
					CONTRATO Nº ORDER NO. 3753		
COMPONENTE: ENVOLTÓRIO CONTENÇÃO COMPONENT				DESENHO Nº DRAWING NO.			
SUB. CONJUNTO ASSEMBLY PART				INST. DE TEST E EXAME TEST AND EXAM. INSTRUÇ.			
ESPECIFICAÇÃO SPECIFICATION RE-L. 1134				PLANO SEQ. DE FABRIC. WORK SEQ. PLAN NO.			
EXTENSÃO DO EXAME EXTENT OF EXAMINATION		C/H %	NIK %	11/T %	EXAME Nº EXAM. NO.		
					Nº SEQUENCIAL SEQUENCE NO.		
METAL BASE BASE METAL			COM WITH				
PARTE DA JUNTA JOINT PART							
	POSICÃO POSITION	PROCESSO PROCESS	~ + - ARAME/ELET. WIRE/ELECT.	COORIDA CHARGE NO.	FLUXO FLUX	COORIDA CHARGE NO.	OBSERVAÇÕES REMARKS
POITEAMENTO TACKING							
SOLDA RAIZ ROOT WELD							
FACHIMENTO FILLING							
CONVERGEM CONVERGENCE							
LADO OPPOSTO BACKSIDE WELD							
CROQUIS DA JUNTA DE SOLDA - CROQUIS OF WELD JOINT							
DATA DATE LOCAL PLACE EXAMINADOR EXAMINER				DATA DATE LOCAL PLACE ASS/SGN. NUCLEN		DATA DATE LOCAL PLACE ASS. INSR/INDER/SGN II	
SUPERVISOR DO EXAME EXAM. SUPERVISOR							

Fig. 53 PROTOCOLO DE SOLDAGEM

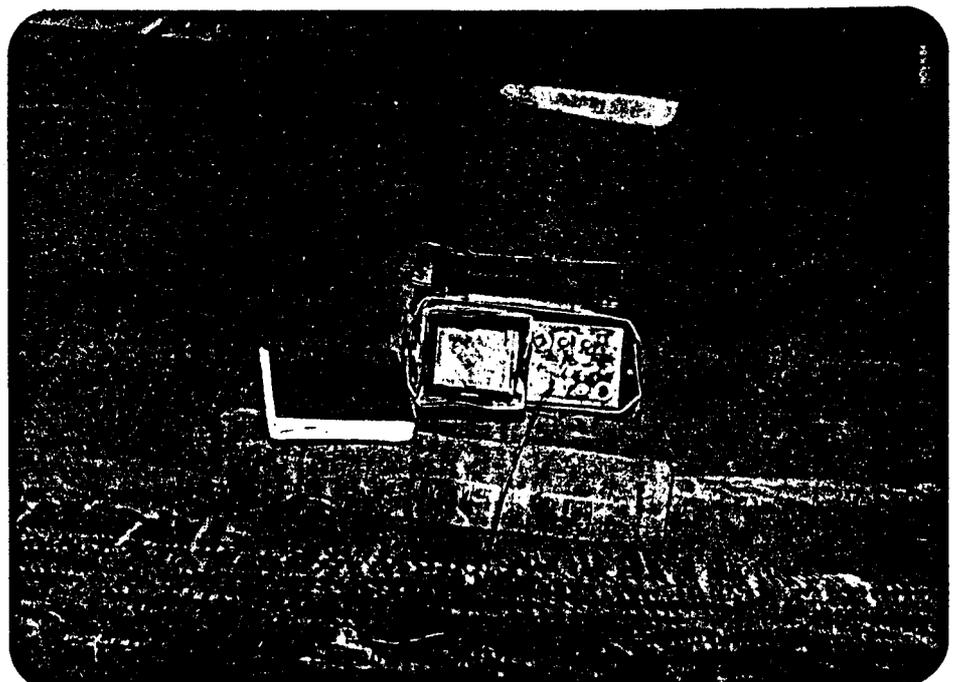
Fig. 55



A

CONTROLE DA SOLDA EXECUTADA PELO ULTRASOM.

B



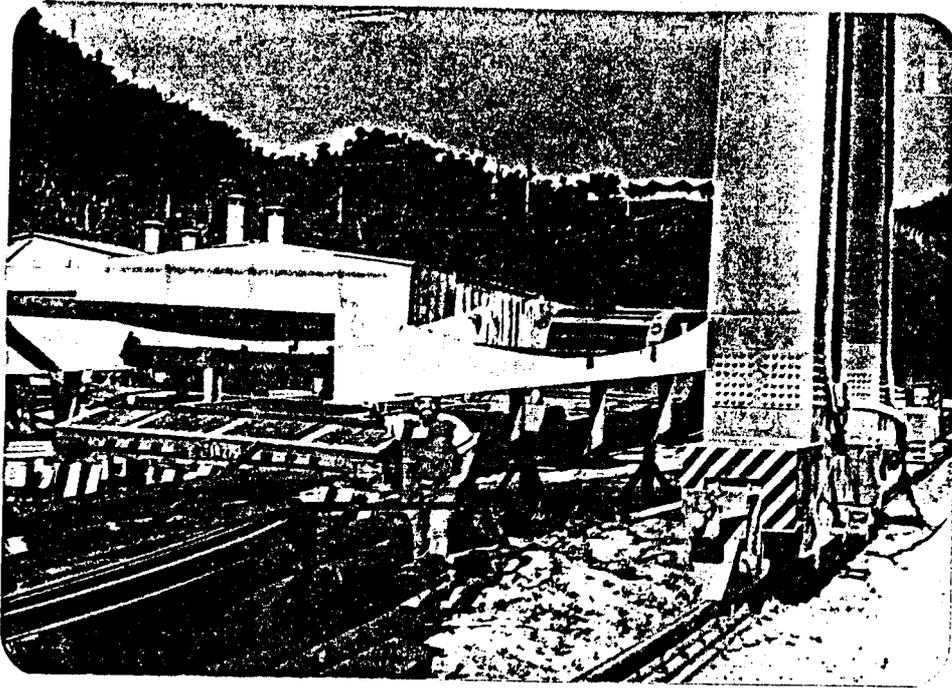
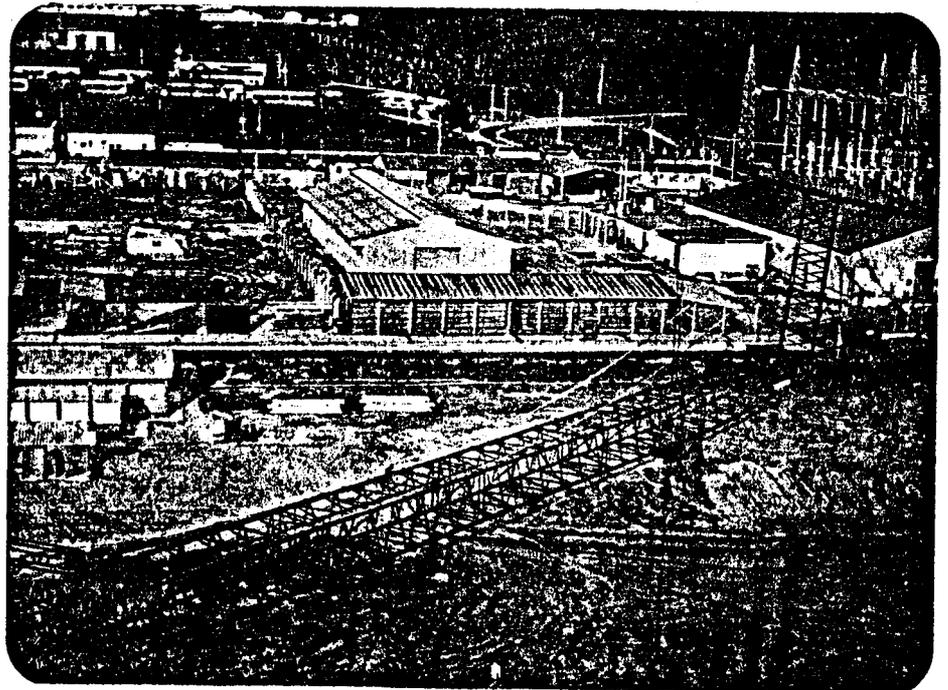


Fig. 56

- Alto - Gabarito sobre carreta para assentamento e transporte de quatro chapas formando um conjunto, para serem soldadas na montagem do envoltório aço.
- Abaixo - Guindaste para colocar chapas e peças pesadas no edifício do reator.

Fig. 57



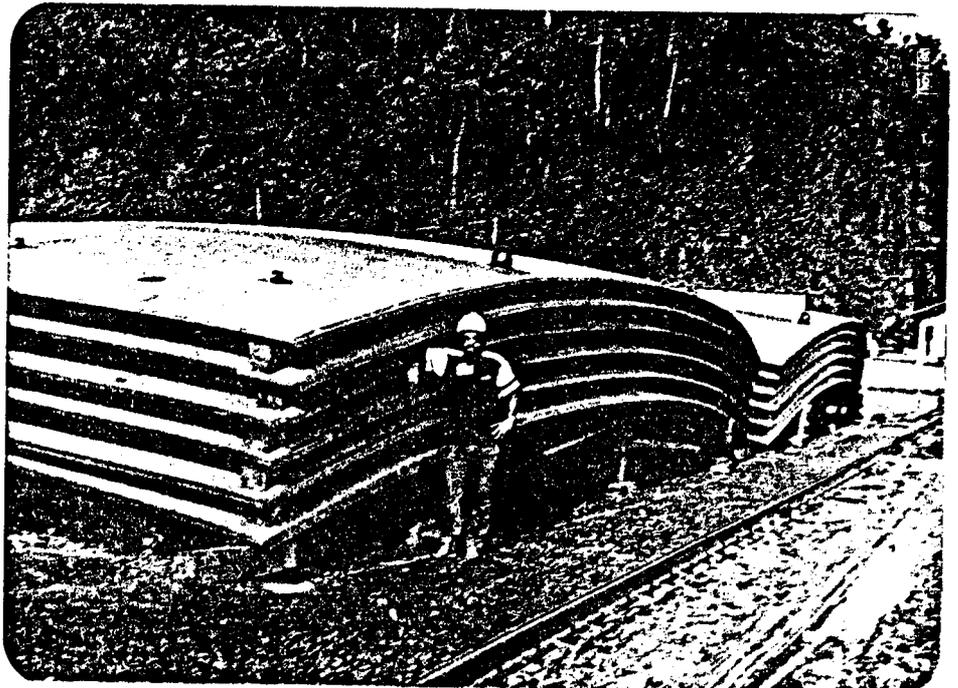


Chapas esmeriladas após soldagem.

Fig. 58

Fig. 59

Chapas prontas para serem transportadas para a linha de montagem.



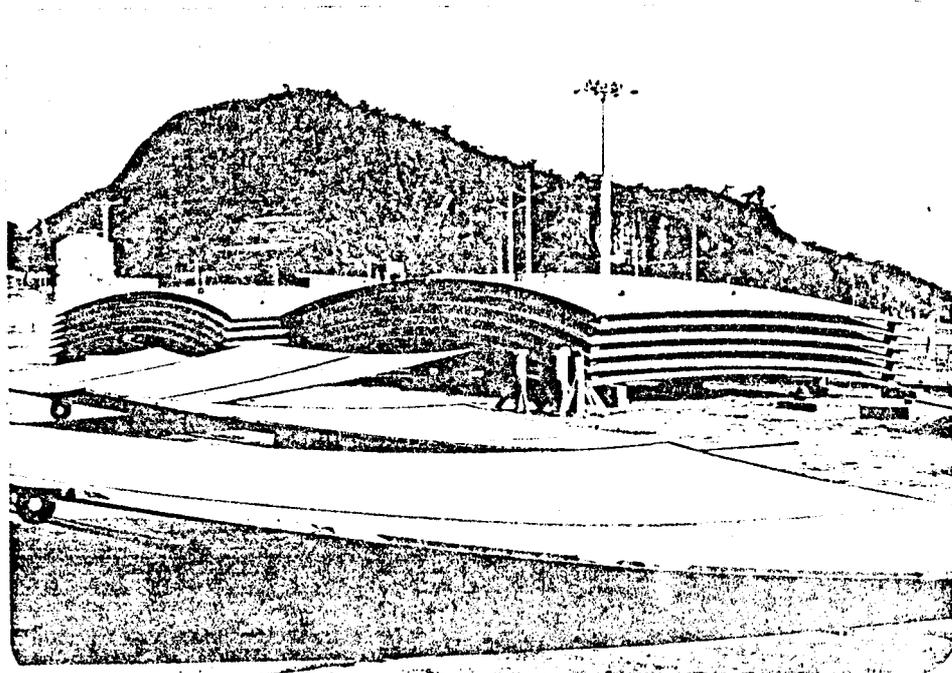
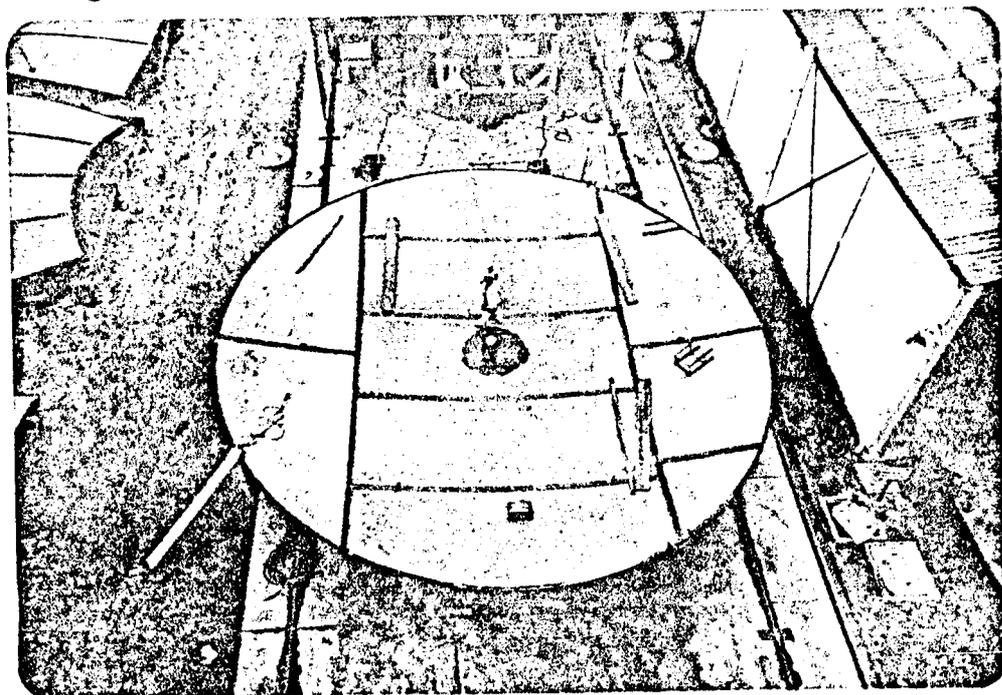


Fig. 60-A

A - conjunto de quatro chapas soldadas, aguardando transporte para linha de montagem.

B - calota formada por várias chapas que também - será levada para linha montagem.

Fig. 60-B



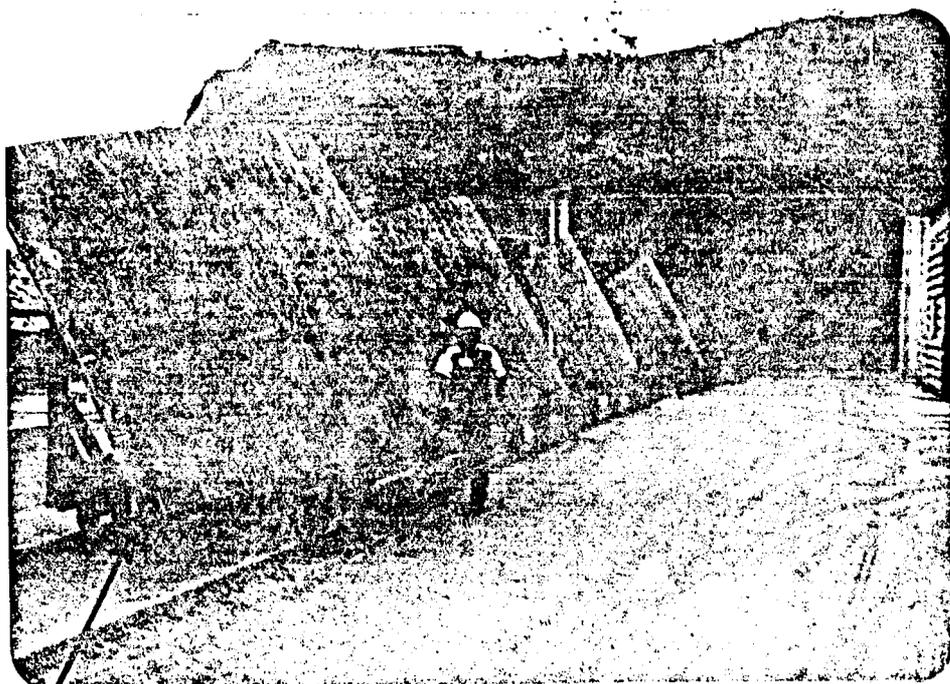
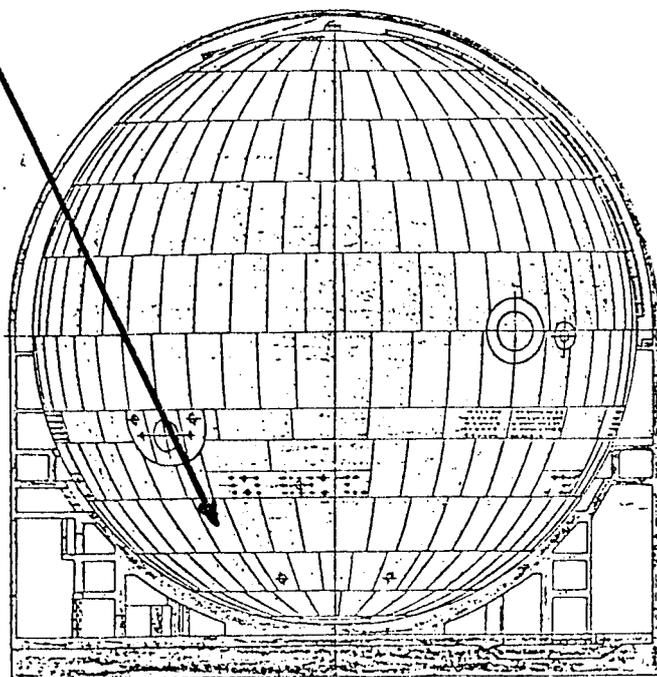


Fig. 61



ENVOLTÓRIO DE CONTENÇÃO
ANGRA 2 e 3

O C I C L O

D O

C O M B U S T I V E L

O CICLO DO COMBUSTÍVEL

Com o advento do acôrdo de cooperação nuclear entre o Brasil e a Alemanha, o Brasil se organizou de forma tal, a captar cada ítem do acôrdo e explorá-lo no sentido de que nada pudesse ficar obscuro, sendo que, em cada passo rumo a conquista desta tecnologia, seria amparado por um aliado alemão.

Para se atingir esse objetivo, foi instalado um complexo industrial em nosso território, visando obter tanto a fabricação de reatores, como também, o acesso total ao ciclo do combustível nuclear.

Quase não dá para imaginar que há apenas 28 anos atrás entrava em funcionamento em Calder Hall o primeiro reator com a finalidade de geração de energia, e que hoje, já temos acesso completo a essa tecnologia.

O interesse na busca desta sofisticada experiência era também, porque sabíamos de nossas reservas de urânio, porque, caso contrário, continuaríamos a ser dependentes de outros países.

Para obtermos o urânio enriquecido para o reator de Angra I, tivemos de adquirir o urânio da África do Sul, convertê-lo em hexaflureto na Inglaterra, enriquecê-lo nos Estados Unidos e finalmente, trazê-lo ao Brasil.

Hoje, não precisamos fazer todo esse esforço, pois, o acôrdo com a Alemanha, nos possibilitou desenvolver a nossa indústria e graças a experiência que o Brasil tem no ramo da construção civil, tornou possível, num recorde de tempo, executar um volume de obra tão grande, requisito necessário a exploração a fundo desta nova ciência....

Para que isso fosse possível, foi traçado um organograma dividindo todas as atividades no campo da energia nuclear, entre CNEN, ELETROBRÁS e NUCLEBRÁS, que por sua vez, se subdividiram em outras empresas sempre com o objetivo de captar em detalhes toda a tecnologia nuclear.

Analiseemos nossa posição em cada atividade relacionada, direta ou indiretamente, com a energia nuclear, e as obras que se fizeram necessárias para tal:

6.1. PROSPECÇÃO E PESQUISA DE MINÉRIOS DE URÂNIO.

As pesquisas do Urânio no Brasil, datam de 1.952, mas eram realizadas por técnicos de outros países, uma vez que, somente na década de 1.960 é que se formavam os primeiros geólogos brasileiros, antes disso, diversos contratos foram assinados com estrangeiros, visando a determinação do potencial urânífero brasileiro.

Em 1.962 a 1.966, foi descoberto urânio no Planalto de Poços de Caldas em Minas Gerais, este urânio vinha associado ao Molibdênio.

Essas atividades de pesquisa não tinham um ritmo intenso, prova é que, até 1.973, as nossas reservas conhecidas eram de 11.040 toneladas.

Quando a Nuclebrás iniciou seus trabalhos em 1.975, as pesquisas foram aceleradas sendo que, em 1.977, já tinha sido atingido 66.800 toneladas. Em 1.978, chegou a atingir 132.300, em 1.979, atingiu 193.600, hoje, ocupa orgulhosamente o 5º lugar no mundo, com 301.490 toneladas.

Esta intensidade imprimida e o atingimento do objetivo, está ligada a rapidez das atividades e suas respectivas obras, pois, o objetivo final é fruto dos levantamentos aerofotogramétricos, das perfurações de sondagens, etc.

Ocupando o 5º lugar no mundo, o Brasil é superado pelos Estados Unidos, Canadá, Austrália e África do Sul.

Das 301.490 toneladas, a jazida de Itataia, localizada na Fazenda do mesmo nome, município de Santa Quitéria, na região central do Ceará, contribui com 142.500 toneladas. Nesta área, além dos trabalhos de sondagem que vem executando, a Nuclebrás, abriu três galerias subterrâneas, com um to

tal de 1.269 metros, para melhor investigação do corpo do minério.

Já, próximo à jazida, há um aeroporto construído pela Nuclebrás, com uma pista de 1.000 metros de extensão e mais uma estrada ligando São José de Macaoca ao acampamento da Nuclebrás e também, uma linha de alta tensão.

6.2. ENGENHARIA MINERAL

Após a descoberta de uma jazida é necessário, fazer um projeto de viabilidade técnica e econômica para a exploração da mesma, cujas atividades pertencem a engenharia mineral.

Das jazidas descobertas, as que se apresentaram com maior viabilidade para a implantação de complexos minero-industriais são as de Lagoa Real, localizada em Caetité na Bahia e a de Itataia no Ceará, que apresentam o urânio associado ao fósforo e que permitirá, portanto, a produção de concentrado de urânio, juntamente com o ácido fosfórico.

6.3. COMPLEXO MINERO-INDUSTRIAIS - BENEFICIAMENTO.

Apresentando viabilidade técnica e econômica elaborados pela engenharia mineral, em seguida, com a fase de implantação do complexo minero-industriais, cuja finalidade básica é a de produzir o concentrado de urânio, também chamado "yellow cake" (bolo amarelo), quimicamente - diuranato de amônio.

Atualmente, já dispomos de um complexo minero-industrial no planalto de Poços de Caldas.

A usina teve seu projeto de engenharia básica concluído em 1.977, encomendado a firma francesa Uranium Pechiney Uzine Kuhlmann (UPUK).

Em 1.978 também encerrado o projeto de engenharia de detalhe pela firma brasileira Natron.

Em 6 de maio de 1.982, tivemos a sua inauguração, sua capacidade nominal é de 500 t/ano de "yellow

cake".

Para obtenção do concentrado de urânio, existe a necessidade de ácido sulfúrico, que também, já existe uma fábrica no local, com capacidade de 360 toneladas por dia.

6.4. COMPLEXO INDUSTRIAL DE RESENDE

Situado no distrito de Nhangapi, Resende, Estado do Rio de Janeiro, é um dos complexos mais importantes, pois, envolve as fases do ciclo do combustível, compreendendo a conversão, enriquecimento e a fabricação do elemento combustível.

6.4.1. USINA DE CONVERSÃO.

O objetivo principal desta usina é converter o concentrado de urânio "yellow cake" em hexafluoreto de urânio (UF₆).

O projeto de implantação desta usina também ficou a cargo da firma francesa (UPUK) sendo que o projeto de engenharia básica e de detalhe ficou a cargo da firma "Hidroservice", terá uma produção inicial de 500 toneladas/ano, visando atingir sua capacidade nominal de 2.000 t/ano. Será inaugurada em 1.986.

6.4.2. USINA DE ENRIQUECIMENTO.

A usina de conversão transformou o concentrado de urânio em hexafluoreto de urânio, o enriquecimento consistirá em elevar o percentual de U-235 de 0,7% para 3%, através do processo de jato centrifugo, de tecnologia alemã. Nesta fase, o processo mais difícil do ciclo do combustível, sendo que os outros países utilizam o processo de enriquecimento por difusão gasosa.

A usina de enriquecimento está a cargo da Nuclei, uma das subsidiárias da Nuclebrás, sendo que 25% do capital realizado, pertence às companhias alemãs STEAG e INTERATOM.

6.4.3. FÁBRICA DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS.

A fábrica de elementos combustíveis recebe como matéria prima o hexafluoreto de urânio enriquecido e o transforma em elemento combustível, em três etapas:

a. primeiramente, o hexafluoreto é transformado em pó de UO_2 .

b. o pó é prensado, sendo transformado em pastilhas.

c. é feita a montagem do elemento combustível que consiste em tubos de zircaloy, que recebem em seu interior as pastilhas.

Foi inaugurada em 1.982, e atualmente vem desenvolvendo a fase "c".

4.4. USINA DE REPROCESSAMENTO

O reprocessamento, consiste em recuperar o material físsil ainda existente em um elemento combustível, após o mesmo já ter sido utilizado no reator, com essa operação, obtém-se urânio e plutônio.

Todos os países sabem que existe uma possibilidade muito grande, que a próxima geração de reatores seja o do tipo superconversores.

A França, Inglaterra e a Rússia, já possuem pequenos reatores superconversores, eles representam uma grande conquista, principalmente, para os países que não possuem reserva suficiente de urânio.

O método de reprocessamento em uso universal, é o método purex, que faz a extração, através de solvente.

A usina de reprocessamento no Brasil está em fase de acabamento, executado através da firma UHDE do Brasil e GmB da Alemanha.

Atualmente, a Nuclebrás cuida de um plano que é o de maior importância dos já vistos até aqui,

trata-se de plano visando o tratamento de rejeitos radioativos.

Após o reprocessamento e a recuperação do plutônio e urânio ainda existentes nos elementos irradiados, o restante se constitui em elementos químicos de alto fluxo radioativos e período de meia vida muito longa e que podem ser armazenados sem o constante resfriamento, e que a água utilizada no resfriamento não pode entrar em contacto com os lençóis freáticos.

O projeto em estudo, visa também, o transporte e a construção de equipamentos para tratamento dos rejeitos.

Além das instalações necessárias ao procedimento do ciclo do combustível, o Brasil possui também já em funcionamento, uma fábrica de equipamentos pesados, sendo que para isso se associou às firmas KWV, Uoest Alpie, Val/aus tríaca e Man - GHH-Størkrad (alemã).

A obra também, teve início em 1.977 e foi concluída em 1.980, quando ela entrou em operação, localiza-se em Itaguaí, Estado do Rio de Janeiro.

Consta da sua produção: vasos de pressão, acumuladores, pressurizadores, sistemas nucleares de geração de vapor e turbina a vapor.

Paralelo as obras relativas a cada fase do processo nuclear, existe também a fase de preparo de técnicos qualificados para operação e manutenção na área nuclear, pois, a absorção da tecnologia envolve a parte teórica e a parte prática.

A parte prática é absorvida no dia a dia, uma vez que, em cada fase do processo, existe um associado alemão fornecendo subsídios, já a parte teórica, necessita de instalações contendo os requisitos básicos, para atingir este objetivo, foi criado em 16 de setembro de 1.977, o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, órgão centralizador de todas as áreas de pesquisa e tecnologia, em Belo Horizonte, ocupan

do as antigas instalações do Instituto de Pesquisas Radioativas. Suas atividades, compreendem:

- a. dominar a tecnologia de reatores e de combustíveis nucleares, introduzindo as necessárias adaptações às condições brasileiras, da tecnologia disponível através do acordo Brasil-Alemanha (acordo de cooperação nuclear).
- b. dar apoio às unidades industriais de pesquisa mineral, relacionados ao programa nuclear Brasileiro, na qualificação de materiais, equipamentos e processos e na solução de problemas técnicos que requeiram suporte de pesquisa e de laboratório.
- c. treinar pessoal técnico e científico para as atividades industriais, de pesquisa e desenvolvimento do programa Nuclear Brasileiro.
- d. desenvolver a tecnologia de reatores e do ciclo do combustível nuclear, seus métodos e processos, iniciando um processo autônomo de pesquisa e desenvolvimento visando as novas soluções tecnológicas.

A N E X O

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Definição da política de
energia nuclear

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA

Planejamento, execução e controle
da política nacional de energia
nuclear

CNEN
Comissão Nacional de
Energia Nuclear

- 1 - Normas e autorização para licenciamento de instalações nucleares
- 2 - Normas sobre segurança e proteção na construção e operação de instalações nucleares e no uso de materiais nucleares
- 3 - Supervisão e fiscalização das atividades nucleares no País
- 4 - Pesquisa científica nuclear
- 5 - Formação de cientistas, engenheiros e pesquisadores nucleares

NUCLEBRÁS
Empresas Nucleares
Brasileiras S.A.

- 1 - Monopólio da prospecção, pesquisa e lavra de minérios nucleares
- 2 - Monopólio da produção de concentrados de urânio
- 3 - Monopólio da construção e operação de usinas de:
 - enriquecimento de urânio
 - fabricação de elemento combustível
 - reprocessamento de combustível irradiado
- 4 - Monopólio da comercialização de materiais nucleares
- 5 - Fabricação de reatores nucleares
- 6 - Promoção da indústria privada na produção de componentes para instalações nucleares
- 7 - Engenharia de projeto, construção e montagem de centrais nucleares
- 8 - Operação do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
- 9 - Financiamento e Construção de Centrais Nucleares

ELETRONBRÁS
Centrais Elétricas
Brasileiras S.A.

- 1 - Programação de localização e de construção de centrais nucleares.

**CONCESSIONÁRIAS DE
SERVIÇOS DE ELETRICIDADE**

- 1 - Operação de centrais nucleares

Fig. 62

RESERVAS GEOLÓGICAS DE URÂNIO EM TONELADAS MÉTRICAS DE U3 O8.

NUCLEBRÁS	CLASSE DE RESERVA					
	1950			1961		
	** MEDIDAS E INDICADAS	** INFERIDAS	TOTAL	** MEDIDAS E INDICADAS	** INFERIDAS	TOTAL
1. PLANALTO DE POÇOS DE CALDAS / MG	20.000	6.800	26.800	20.000	6.800	26.800
2. FIGUEIRA / PR	7.000	1.000	8.000	7.000	1.000	8.000
3. QUADRILÁTERO FERRÍFERO / MG	5.000	10.000	15.000	5.000	10.000	15.000
4. AMORINÓPOLIS / GO	2.000	3.000	5.000	2.000	3.000	5.000
5. PROVÍNCIA URANÍFERA DE RIO PRETO / GO	500	500	1.000	500	500	1.000
6. PROVÍNCIA URANÍFERA DE ITATAIA / CE	83.000	39.500	122.500	83.000	54.500	137.500
7. PROVÍNCIA URANÍFERA DE LAGOA REAL / BA	18.000	30.000	48.000	18.000	45.000	63.000
8. ESPINHARAS / PB A	5.000	5.000	10.000	5.000	5.000	10.000
TOTAL	140.500	95.000	235.500	140.500	125.000	265.500

Equivalerem na nomenclatura da AIEA: * razoavelmente asseguradas
 ** adicionais estimadas
 Nuclam

Fig. 63

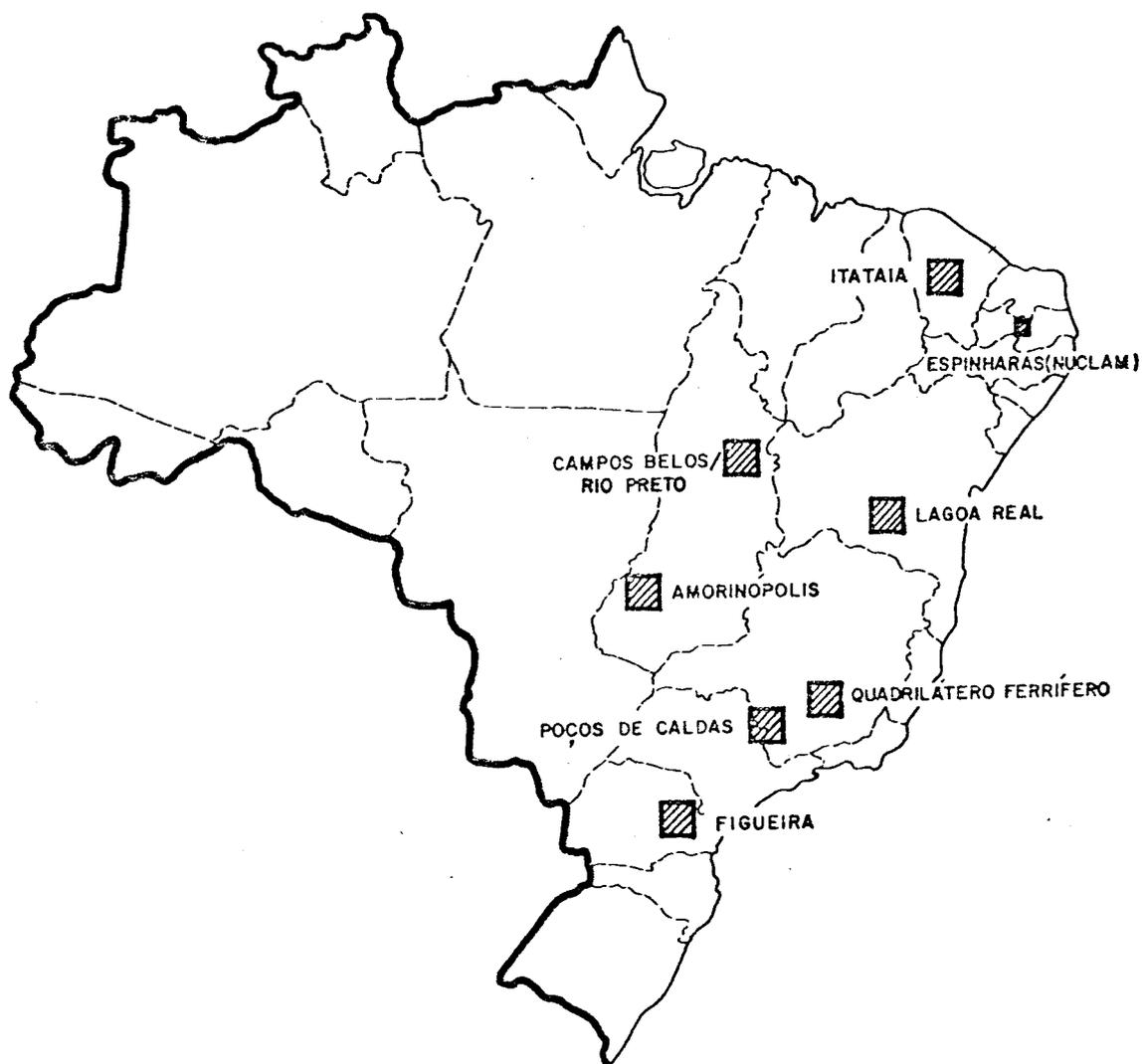


Fig. 64 - LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS DE URÂNIO NO BRASIL.

A mina Osamu Utsumi, (em homenagem póstuma a um dos geólogos pioneiros da prospecção de urânio no Planalto de Poços de Caldas), - da qual é extraído o minério de urânio que alimenta a usina de produção de concentrado. Na mina, com uma reserva de 21.800 toneladas as concentrações de minério estão em uma faixa entre 40 e 300 metros de profundidade. Sua cava ocupa uma área equivalente a um círculo de 800 metros de diâmetro. Na primeira fase de operação da usina, a produção média do minério bruto é de 2.500 toneladas diárias.

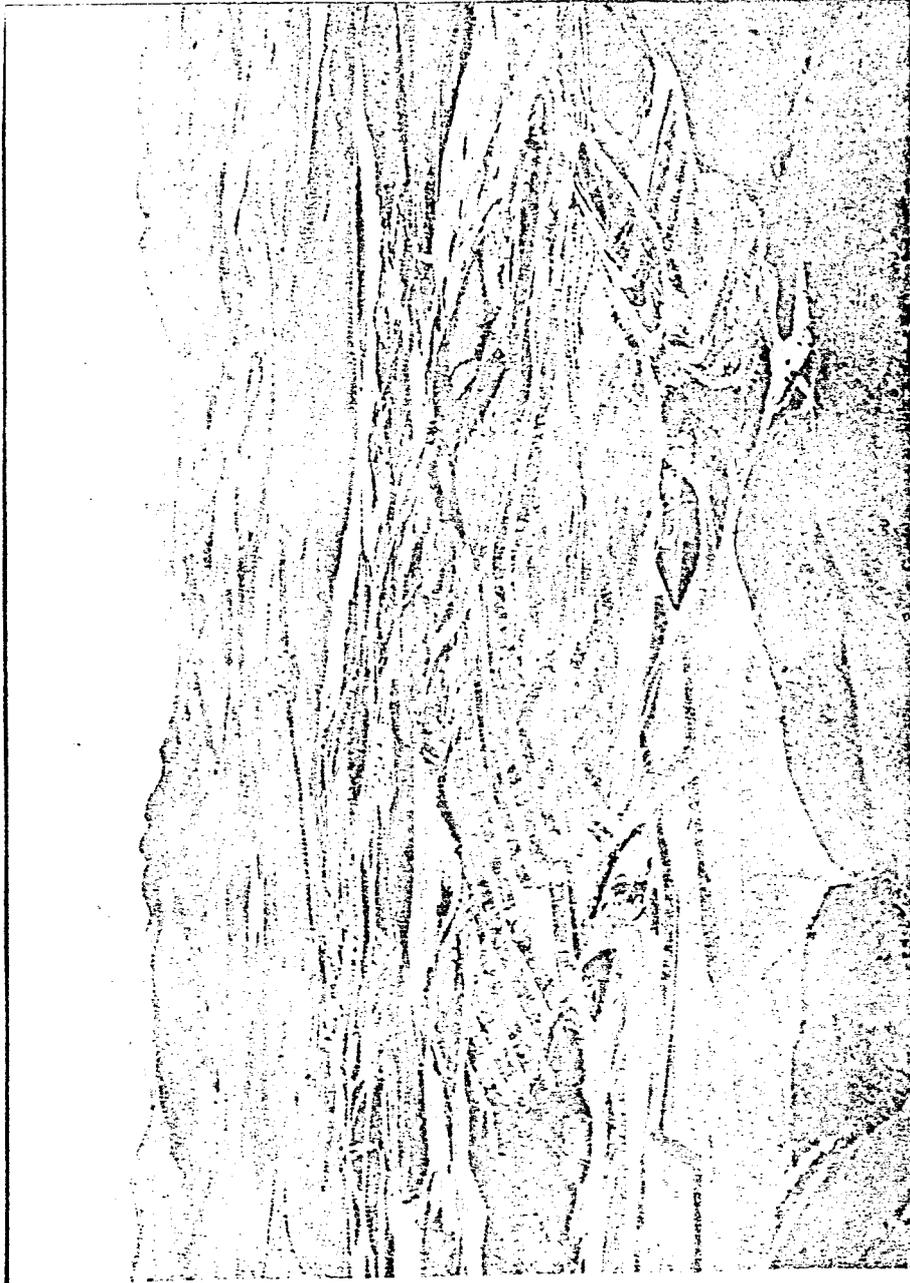
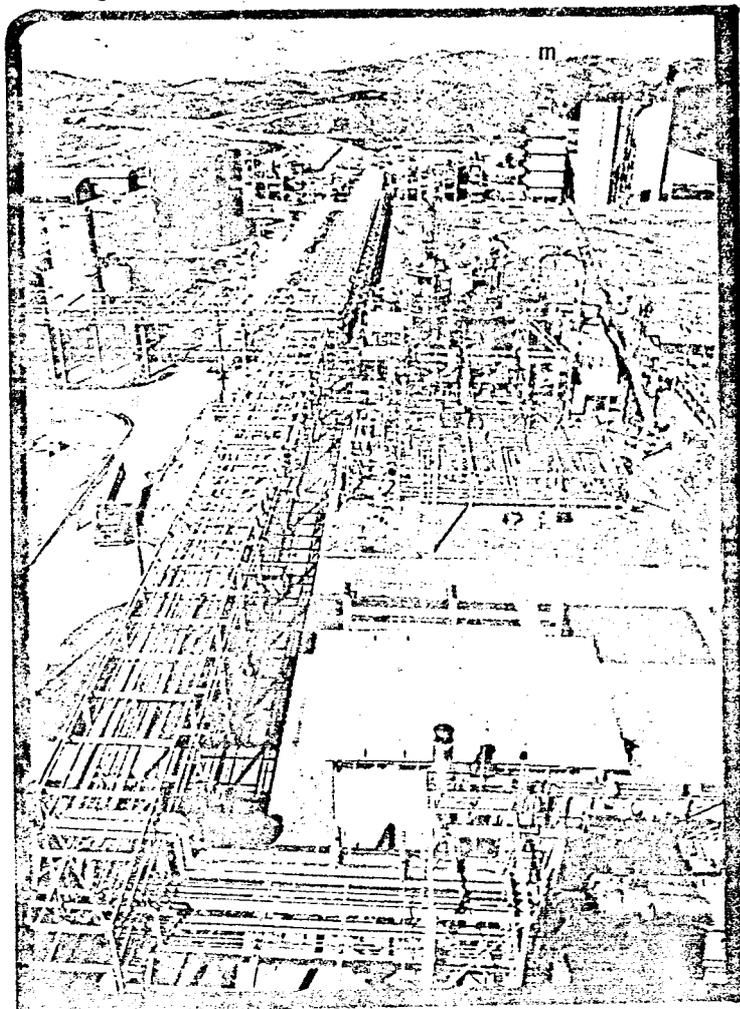


Fig. 65.

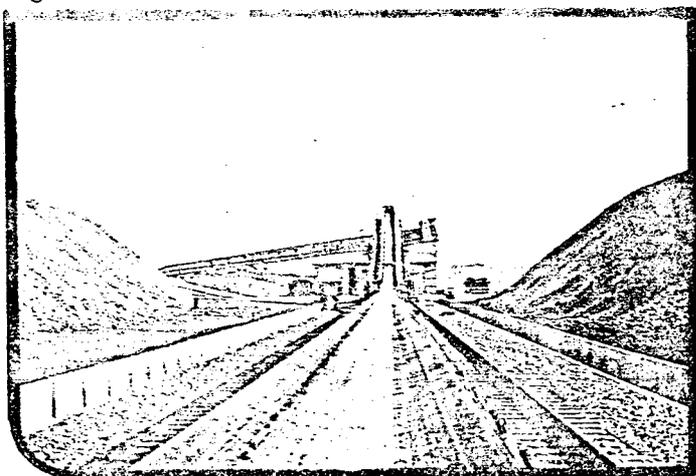


A- Vista parcial das unidades de apoio à usina, que compreendem a fábrica de ácido sulfúrico, uma unidade alternativa de geração de vapor, uma central de produção de ar comprimido, uma estação de tratamento de água bruta, - uma unidade de desmineralização, uma instalação de moagem de calcário e - uma unidade de tratamento de rejeitos.

B



Dois aspectos do manuseio, que compreende o caminho percorrido pelo minério de urânio da mina à usina, passando pelas etapas de britagem primária, estocagem, britagem secundária e terciária e moagem. Moido



e já em forma de polpa, o minério é afinal transportado para a usina através de um mineroduto.

Vista geral da usina de produção de concentrado de urânio, cuja capacidade nominal é de 500 toneladas anuais. A usina, primeiramente a produzir urânio industrialmente no Brasil, é a de maior porte em toda a América Latina na produção contínua de "yellow cake". Ela terá como produtos secundários concentrados de molibdênio, na forma de molibdato de cálcio, e zircônio, na forma de óxido.



Fig. 67

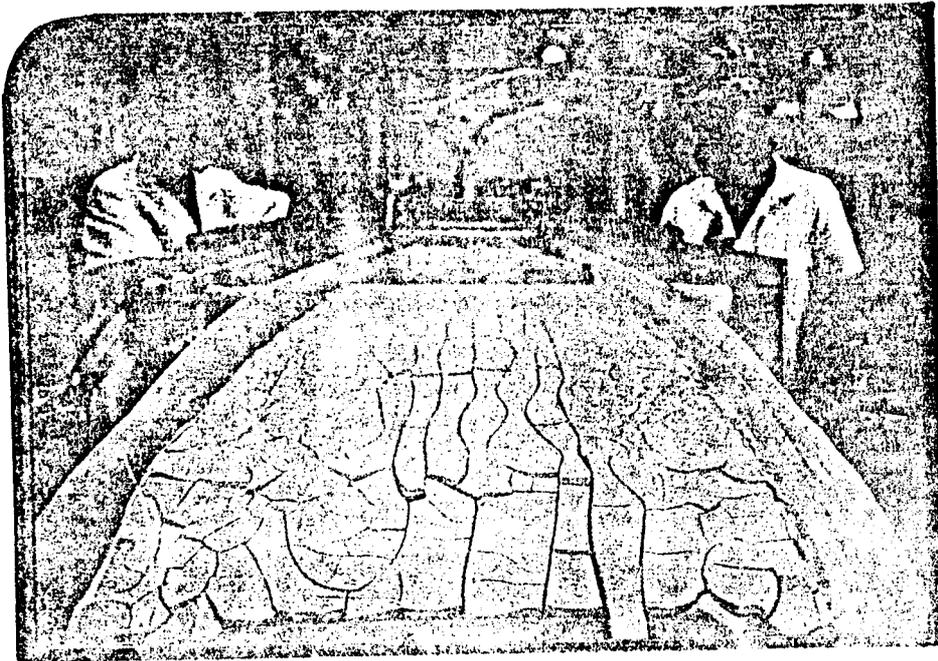


Fig. 68

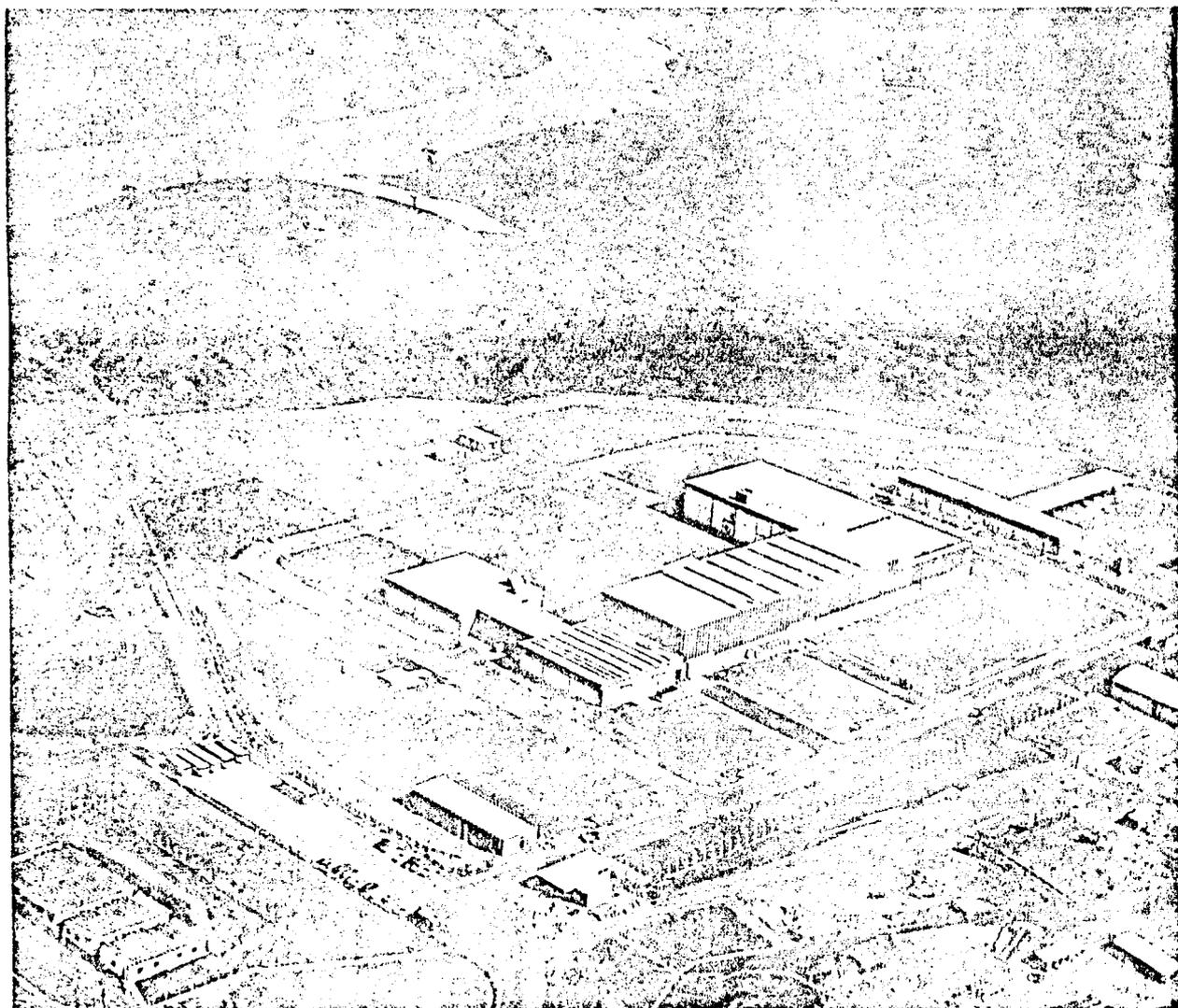
"Yellow cake" -
passando pelo fil-
tro antes da seca-
gem.

Fig. 69

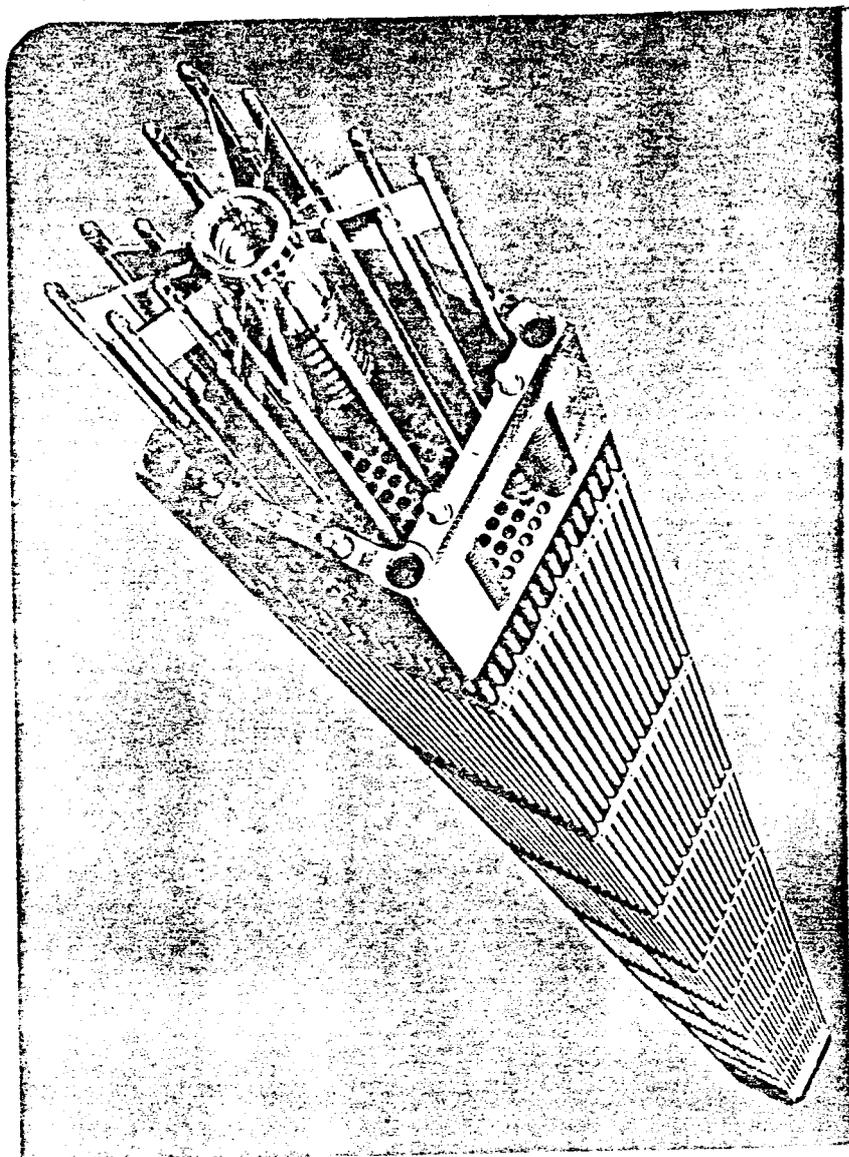
Produto embalado em -
tambores apropriados.



Fig. 70



Vista geral da Fábrica de Elementos Combustíveis localizada no município de Resende - RJ.



O elemento combustível é constituído - de um conjunto de varetas (Angra I, 235;- Angra II, 236) rigidamente posicionadas em uma estrutura formada por grades espaçadoras, tubos-guia e bocais. Nos tubos-guia são inseridas as barras de controle da - reação nuclear.

Fig. 71

Fig. 72

As pastilhas de urânio são acomodadas, sob a pressão de uma mola, dentro das varetas de um elemento combustível. Entre a mola e o urânio, há pastilhas isolantes térmicas de óxido de alumínio.

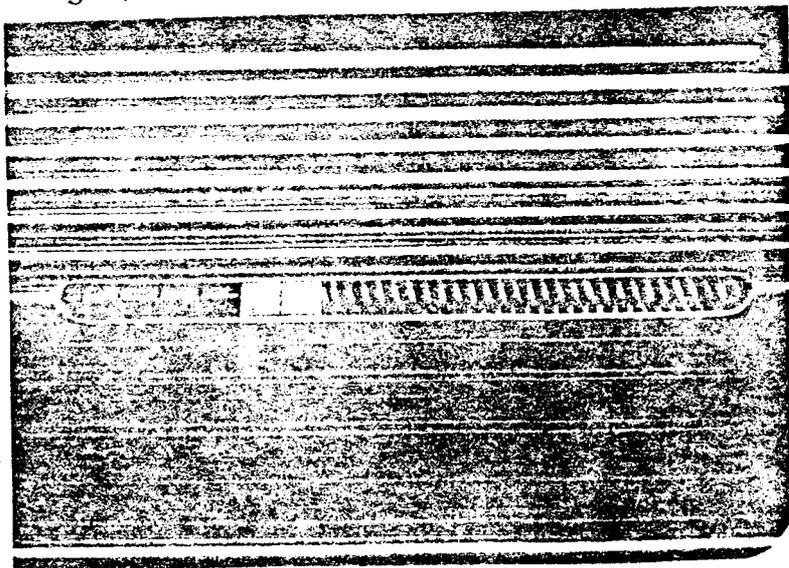
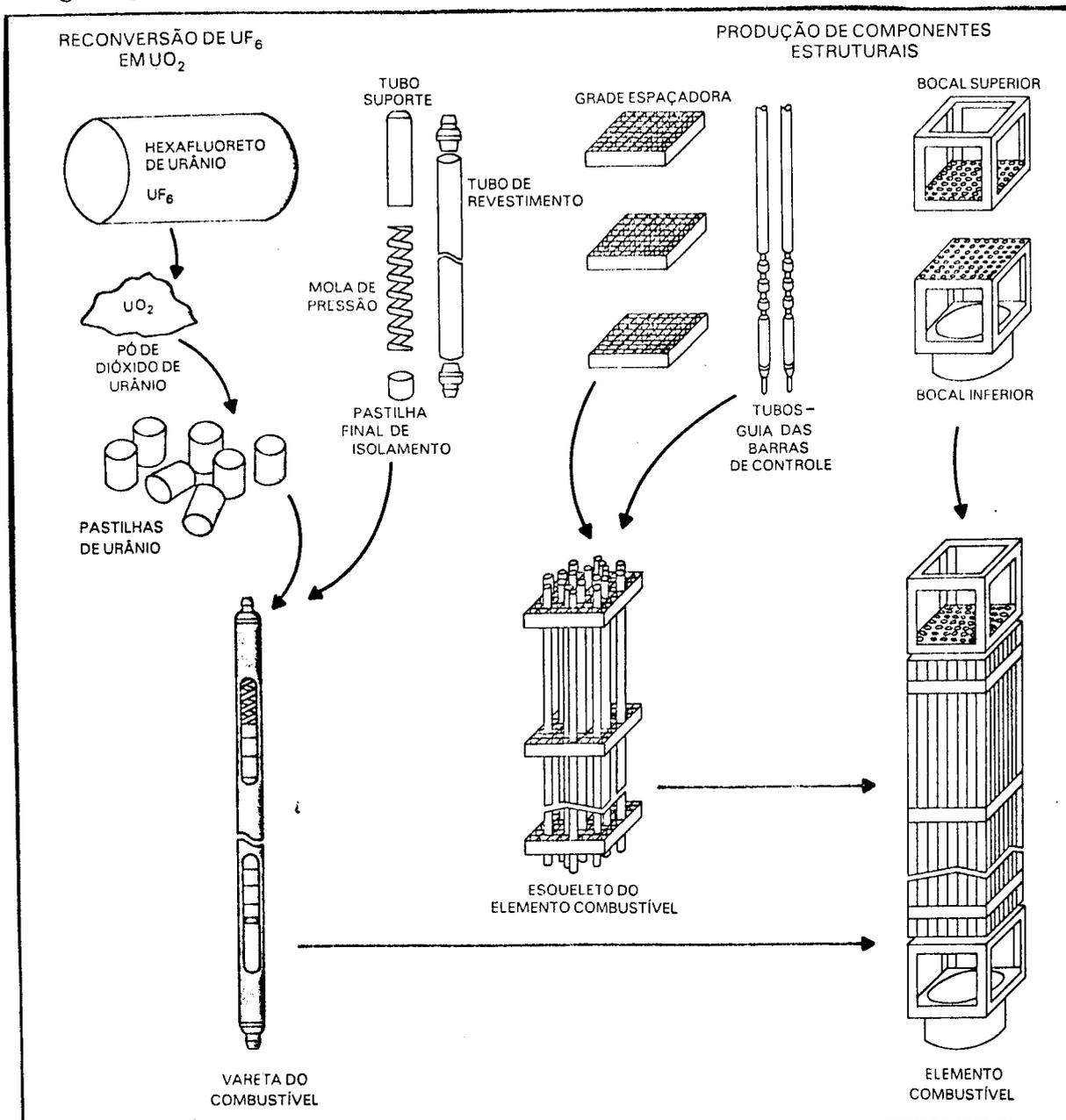


Fig. 73



Estágios da fabricação do elemento combustível.

CONCLUSÃO

Apesar de todos os sistemas de segurança adotados, quer na construção, quer na operação de usinas nucleares, ainda não foi possível ganhar a opinião pública quanto a aceitação da convivência com esse processo de geração de energia.

Tal aceitação não foi possível em função da falta de divulgação das conquistas tecnológicas efetuadas.

Esses conhecimentos sobre a construção ou operação de usinas nucleares estão sendo restritos a determinados grupos ou empresas, não possibilitando a sua divulgação.

Nosso governo deveria implantar um amplo processo de divulgação da tecnologia adquirida, para que um número maior de brasileiros tivessem acesso a tais conhecimentos, possibilitando, com isso, um convívio com a realidade nuclear brasileira.

8. BIBLIOGRAFIAS

1. BIASI, Renato de - A Energia nuclear no Brasil. Rio de Janeiro, Atlântida, 1.979. 192p.
2. CERVO, Amado Luiz e BERVIAN, Pedro Alcino - Metodologia científica: para uso dos estudantes universitários. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1.978. 144p.
3. CORK, James M. - Radioactivity and Nuclear Physics. 2.ed. Ney York, D. Van Nostrand, 1.950. 415p.
4. EFRON, Alexander - El mundo de la energia nuclear. trad. por Jorge R. Jauregui. Buenos Aires, S.A. Editorial Bell; Centro Regional de Ayuda Técnica, 1.971. 95p.
5. ENERGIA Nuclear e Sociedade, Coord. Antonio D. Machado; assis. tec. de Enio Candoti ; trad. Sandra Crivano e Rubério Prado Britto. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1.980. 321p. (Col. O Mundo, Hoje - v. 30).
6. GAINES, Matthew J. - Energia atômica. trad. Nestor Deola. 2.ed. São Paulo, Melhoramentos, 1.977. 157p. (Série Prisma).
7. HARVEY, Bernard G. - Química Nuclear. trad. Fausto W. Lima.- São Paulo, Ed. Edgard Blücher e Ed. USP, 1.969. 163p. - (Série Textos Básicos de Química).
8. MURRAY, Raymond L. - Energia Nuclear. trad. Norberto de Paula Lima. 2.ed. São Paulo, Hemus, s.d. 308p.
9. MURRAY, Raymond L. - Engenharia Nuclear. trad. A.H. Heffer da Costa. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1.963. 466p.

10. PESSOA, E.F. ; COUTINHO, F.A.B. ; SALA, O. - Introdução à física nuclear. São Paulo, Mcgraw - Hill do Brasil, - 1.978. 294p.
11. ROCHA, Antonio F.G. - Medicina Nuclear. Rio de Janeiro, - Guanabara Koogan, 1.976. 473p.
12. RODRIGUES F., Andrés (Ed.) - Usos pacíficos da energia atômica. Oak Ridge (Tennessee), Instituto de Estudos Nucleares, 1.967. 196p.
13. SAFFIOTI, Waldemar - Fundamentos de energia nuclear. Rio- de Janeiro, Vozes, 1.982. 177p.
14. SALVADOR, Ângelo Domingos - Métodos e técnicas de pesquisa- bibliografia. 9.ed. Porto Alegre, Sulina, 1.981. - 254p.
15. STOLL, Basil A. - Radioterapia. trad. M.D. Roxo Nobre. - São Paulo, Sarvier e Ed. USP, 1.968. 280p.
16. TAVORA, F.T. Pitanga - Termodinâmica e usinas nucleares. - São Bernardo do Campo, FEI, 1.979. 480p.