

O GRUPO DO TÓRIO FACE AO PANORAMA
DE ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

1. CENTRAL NUCLEAR

Uma central núcleo-elétrica ou, simplesmente, central nuclear, é uma central térmica onde o calor destinado à geração do vapor que irá alimentar o turbo-gerador é produzido por um reator nuclear. Assim, o reator substitui a caldeira das centrais térmicas a óleo ou carvão.

A geração do calor no reator dá-se no interior do combustível, geralmente urânio, que, empilhado formando o chamado núcleo do reator, dá origem, por simples justaposição, a uma reação nuclear geradora de calor.

O calor assim gerado é retirado do núcleo por um refrigerante que pode ser líquido ou gasoso.

O combustível apresenta-se usualmente sob a forma de barras mergulhadas em um material chamado moderador que pode ser sólido (grafita) ou líquido (água comum ou "pesada").

O combustível, refrigerante e moderador podem ser combinados em um número muito grande de maneiras, mas apenas algumas levaram a tipos de reatores que são atualmente comerciais. Estes estão indicados na tabela I.

TABELA I

Sigla Inglesa	Tradução	Combustível	Modificador	Refrigerante	Principal Fabricante
BWR	Reator a Água Fervente	Oxido de Urânio Enriquecido	Água	Água Comum	General Electric (U.S.A.)
PWR	Reator a Água Pressurizada	Oxido de Urânio Enriquecido	Água	Água Comum	Westinghouse (U.S.A.)
HWR	Reator a Água Pesada	Oxido de Urânio Nat. ou Enriquec.	Água Pesada	Água Comum ou pesada	Canadá, Suécia, Inglaterra
GCR	Reator Refrigerao a Gás	Urânio Natural Metálico	Grafita	Gás Carbônico	Inglaterra e França
AGR	Reator Avançado a Gás	Oxido de Urânio Enriquecido	Grafita	Gás Carbônico a alta Temperat.	Inglaterra

Os reatores GCR constituíram o primeiro programa nuclear inglês e francês, tendo sido atualmente superados na Inglaterra pelos reatores "avancados" AGR.

2. COMBUSTÍVEIS NUCLEARES

A reação que ocorre na massa do combustível é a reação de fissão em cadeia, em que os núcleos dos átomos do combustível se fissionam, ou partem, sob o efeito dos neutrons, liberando energia térmica, bem como novos neutrons, que mantêm a reação.

Na natureza, há um único elemento possível de fissionar-se nos reatores comerciais atuais: é o Urânio. O urânio natural ocorre como uma mistura íntima de dois isótopos, o U-238 e o U-235, na proporção respectiva de 99,3% e 0,7%. Desses, o isótopo que se fissiona é o U-235, isto é, o menos abundante dos dois.

A baixíssima percentagem de isótopo fissil existente no urânio natural levou a duas opções básicas, que conduziram aos atuais reatores comer-

ciais.

Alguns países (Canadá, França e, inicialmente, a Inglaterra) optaram pela utilização do urânio natural, que levava, por razões técnicas, ao emprego da grafita ou água pesada como moderador. Atualmente, os únicos reatores oferecidos comercialmente à venda, e que empregam o urânio natural são os HWR, reatores a água pesada.

Outros países (Estados Unidos, tipicamente) optaram pelo enriquecimento artificial do urânio no seu isótopo físsil U-235, que permite o emprego da água comum como moderador. A disponibilidade desse urânio enriquecido levou os Estados Unidos a desenvolver os reatores a água, pressurizada (PWR) e fervente (BWR).

Atualmente, o urânio enriquecido é oferecido comercialmente e com plenas garantias de fornecimento por um único fornecedor, o Governo dos Estados Unidos, através da sua Comissão de Energia Atômica (USAEC). Por outro lado, o urânio natural é oferecido por vários fornecedores, inclusive particulares, no mercado internacional.

3. CARACTERÍSTICAS ECONÔMICAS DAS CENTRAIS NUCLEARES

Do ponto de vista de estrutura de custos, uma central nuclear se caracteriza pelo valor elevado do investimento inicial, contrabalançado pelo baixo custo do combustível. Outra característica importante é a extrema sensibilidade à economia escala. Daí se conclui que os fatores econômicos que de preferência favorecem o baixo custo da energia gerada são: baixa taxa de juros, alto fator de utilização e elevada potência total da central.

Decorre daí que é impossível afirmar a priori qual o custo da energia gerada por uma central nuclear, como ocorre, aliás, com qualquer outra central elétrica. Este custo depende das negociações financeiras (taxa de juros da amortização do investimento), bem como do sistema elétrico em que a central é integrada (fator de utilização e potência total).

No caso particular do Brasil, a estimativa do custo é dificultada pe

la ausência de experiência prévia, devendo ser feitas extrapolações a partir dos custos americanos e europeus. Estes últimos, entretanto, são encorajadores. Nos Estados Unidos, por exemplo, na grande maioria de sistemas elétricos, as centrais nucleares se tornaram competitivas com centrais térmicas a óleo e carvão.

Desde 1966 que a maioria das novas encomendas de centrais elétricas é constituída por centrais nucleares. Até fins de 1966, havia no mundo ocidental 48 reatores com potência total de 15 000 000 kW, entre os em operação, construção ou encomendados. (Para efeito de comparação, a potência elétrica total instalada no Brasil é da ordem de 10 000 000 kW). Desde essa época, a tendência das encomendas tem sido de aumentar de ano para ano. Para se ter uma idéia da ordem de grandeza dos custos envolvidos, a tabela II fornece os parâmetros econômicos de uma central nuclear tipo BWR a ser construída pela Pacific Gas & Electricity Co. (USA) em Diable Canyon, com uma potencial de 1 060 000 kW.

T A B E L A I I

ESTIMATIVA DE CUSTOS DA CENTRAL NUCLEAR DE
DIABLE CANYON (USA) DE 1 060 000 kW

<u>Investimento</u>	(1 000 \$)
Investimento na central	153 633
Investimento na subestação	<u>34 780</u>
T O T A L	188 413
<hr/>	
<u>Custos Anuais</u>	
Custo anual (exclusive combustível)	24 647
Custo anual do combustível (fator de utilização 80%) ...	<u>12 400</u>
Custo anual total	37 047
<hr/>	
Custo da energia gerada (US cents/kWh)	0,502.

Uma central térmica a óleo geraria energia, nas mesmas condições, a 0,582 cents/kWh.

4. INTRODUÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

A introdução da energia nuclear no Brasil se justifica levando em consideração duas ordens diferentes de fatores:

1. Face à importância decisiva da geração de energia elétrica por meios nucleares no mundo desenvolvido, é necessário ao Brasil acompanhar esta decisiva evolução tecnológica, a fim de entrar no século XXI sem defazagem exagerada de tecnologia e, portanto, de tipo de civilização.

2. Face aos baixos custos de geração proporcionados por essas centrais, relativamente às centrais térmicas a óleo e carvão, e mesmo às hidráulicas de custo mais alto, é um dever para com a população oferecer energia elétrica da fonte mais econômica.

No caso brasileiro, o grande competidor das centrais nucleares não serão as centrais térmicas clássicas, quase inexistentes no País, mas sim as centrais hidráulicas, responsáveis por mais de 90% da potência total instalada. Estas levam atualmente vantagem sobre as nucleares, devido à tecnologia associada mais simples e portanto mais acessível à indústria nacional, bem como devido ao custo inferior, devido à disponibilidade de locais favoráveis para aproveitamentos a baixo preço. Entretanto, com o progressivo esgotamento destes locais privilegiados, o meio imediatamente mais econômico de gerar eletricidade será o por centrais nucleares.

Um raciocínio simples mostra a importância que irá assumir a geração nuclear, só na Região Centro-Sul, nos próximos 30 anos. As projeções de capacidade total instalada nesta região chegam à ordem de 100 000 000 kW daqui a 30 anos; para referência, citamos que esta era a potência instalada nos Estados Unidos há 30 anos atrás. Ora, segundo o Ministério das Minas e Energia, o potencial hidráulico economicamente aproveitável nesta região é de 50 000 000 kW; os restantes 50 000 000 kW deverão ser, portanto, complementados por centrais nucleares. Mesmo admitindo um erro considerável nesta estimativa, o ritmo médio de implantação de centrais nucleares no País entre 1970 e 2000 será de cerca de 1 000 000 kW por ano.

A decisão governamental de introduzir imediatamente uma primeira cen

tral nuclear de 500000 kW (entrada na rãde em 1976) foi, portanto, extremamente oportuna, jã que preparará o País para o programa nuclear maciço das dãcadas de 80 a 90.

Por outro lado, se a indũstria nacional de componentes e combustível para centrais nucleares não fãr desenvolvida a tempo de fazer face a ãste mercado de rãpida expansão, o País poderã se defrontar com sãrios problemas de balanço de pagamentos, diante da necessidade de importar esta quantidade maciça de centrais e combustível.

5. O GRUPO DO TÓRIO E A LINHA NACIONAL DE REATORES

O problema da viabilidade de introdução de uma linha nacional de reatores apta a satisfazer as necessidades do mercado nacional nas prãximas dãcadas, foi equacionado, estudado e analisado por uma equipe especialmente organizada para ãste fim, em 1965, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Trata-se do Grupo do Tãrio, pertencente à Divisão de Engenharia de Reatores do Instituto de Pesquisas Radioativas. Este Instituto pertence à Universidade Federal de Minas Gerais, sendo mantido em convênio com a CNEN, hã cãrca de dez anos, contribuindo decididamente para o andamento das pesquisas nucleares no País. O Grupo do Tãrio começou com um nũcleo de 6 engenheiros, tendo-se rãpidamente expandido para mais de 30 em 1968.

A missão precãpua do Grupo do Tãrio é a de analisar em detalhe a viabilidade do emprãgo do Tãrio no programa nuclear brasileiro. O estudo estã sendo realizado em convênio com o Comissariado de Energia Atãmica da França e foi dividido nas seguintes fases:

- a) Avaliação Preliminar (Projeto INSTINTO) 1966-1967
- b) Pesquisa e Desenvolvimento (Projeto TORUNA) 1968-1971
- c) Protãtipo (eventualmente) 1971- ...

A parte (a), referente ao Projeto INSTINTO estã terminada e um Relatório Final foi emitido, apresentado conclusões positivas, recomendando a continuação do programa atravãs da parte (b), que jã estã em plena realização desde janeiro de 1968.

A filosofia adotada pelo Grupo do Tório foi a de basear a sua análise do emprego do tório em um conceito definitivo de reator, que pudesse ser desenvolvido, ao menos em princípio, pela indústria brasileira nos próximos 10 a 15 anos.

Consequentemente, o esforço principal do trabalho do Grupo se concentrou no desenvolvimento deste conceito particular de reator.

Os estudos levaram a um reator resfriado e moderado por água pesada sob pressão, contido em um vaso de pressão de concreto protendido. Tal escolha foi feita tendo-se em vista a experiência passada e as possibilidades futuras da indústria brasileira.

Posteriormente, verificou-se que tipos muito semelhantes de reatores estavam sendo desenvolvidos por outros países, a saber - a França, a Alemanha e a Suécia. Este fato veio corroborar as potencialidades deste conceito de reator e trazer a vantagem adicional de o País não se ver isolado nas suas pesquisas, podendo-se beneficiar do avanço técnico de outros países.

O tório não é, por si, um combustível nuclear. Para poder funcionar como tal, ele necessita de adição de material físsil e o seu suprimento constitui um dos principais problemas dos reatores a tório.

O reator do "Projeto INSTINTO" permite resolver este problema de duas formas:

- misturando ao tório o urânio enriquecido; esta opção seria prática mas teria a desvantagem de depender de fornecedor externo, já que o urânio enriquecido é vendido de forma praticamente monopolística pela Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos;
- misturando-se ao tório o plutônio; esta opção não teria a desvantagem anterior, porque o plutônio poderia ser produzido em reatores do mesmo tipo, usando como combustível o urânio natural, que pode ser comprado no mercado internacional ou produzido no Brasil.

A segunda opção permite a independência em relação ao suprimento de combustível. Os estudos já feitos mostraram que ela é tecnicamente viável.

Em conclusão, os reatores a tório não são recomendáveis imediatamente; devem ser precedidos de uma "geração" de reatores a urânio natural que funcionaria durante cerca de 10 a 20 anos gerando o plutônio para os futuros reatores a tório.

A vantagem adicional desta solução é que os reatores a água pesada e urânio natural consomem muito menos urânio do que outros tipos de reatores e já atualmente produzem energia a preços competitivos com outras fontes de energia. É o tipo de reator adotado pelo Canadá, Índia, Suécia e, na América Latina, pela Argentina.

6. RESULTADOS DO TRABALHO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Em pouco mais de dois anos de trabalho intensivo, o Grupo do Tório analisou minuciosamente os aspectos técnicos e econômicos da implantação do ciclo do tório no País, através de reatores a água pesada (HWR), funcionando inicialmente a urânio natural, segundo projeto próprio, porém que lança mão de tecnologia existente no exterior e adaptável à indústria brasileira.

O estudo oferece à CNEN subsídios para um programa de desenvolvimento nuclear a curto, médio e longo prazo, acenando com a perspectiva de introduzir no País uma linha de reatores nacionais a tempo de atender ao volumoso programa de construção de centrais nucleares das décadas de 80 e 90.

Esta linha seria desenvolvida paralelamente à dos reatores adquiridos pela ELETROBRÁS no exterior e começaria pela construção de um protótipo de potência reduzida que teria a dupla função de centro polarizador da incipiente indústria nuclear nacional e de instrumento de ensaio de componentes nacionais, que seria muito arriscado incorporar em grande escala aos primeiros reatores estrangeiros adquiridos pela ELETROBRÁS.

Outro resultado extremamente importante do estudo foi a formação de uma equipe especializada nos vários aspectos relacionados com o projeto e análise de centrais nucleares, apta a fornecer consultoria no campo nuclear à ELETROBRÁS e empresas associadas, quando da compra da primeira central, bem como das que se lhe seguirem.

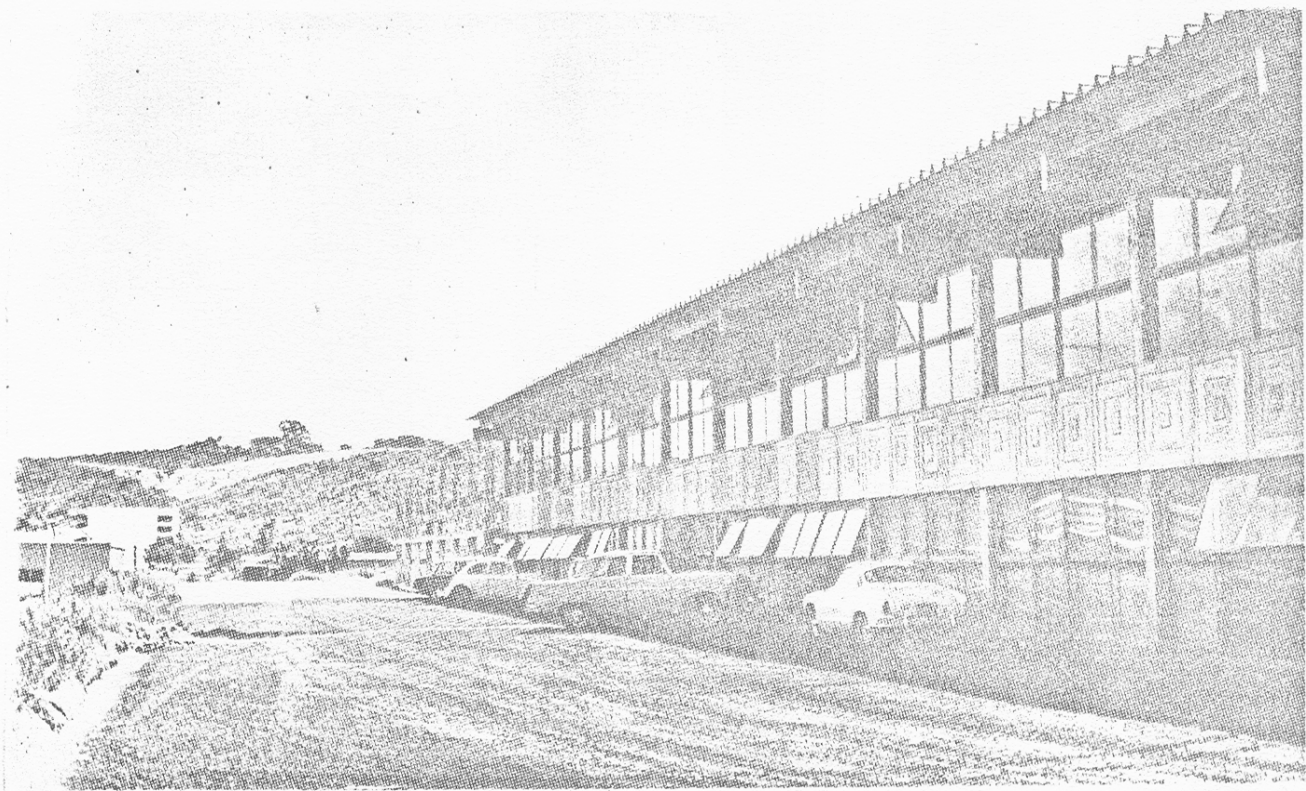
Efetivamente, a experiência adquirida permitiu que a equipe realizasse, sob a forma de contrato de consultoria, e pela primeira vez no Brasil, um estudo de viabilidade técnico-econômica de introdução de central nuclear

em um sistema elétrico. Trata-se do estudo encomendado pela CELPA - Centrais Elétricas do Pará S/A - que, face à ausência de quedas d'água na região de Belém, se viu obrigada a lançar mão de usinas térmicas, decorrendo daí o seu interêsse pelas centrais nucleares.

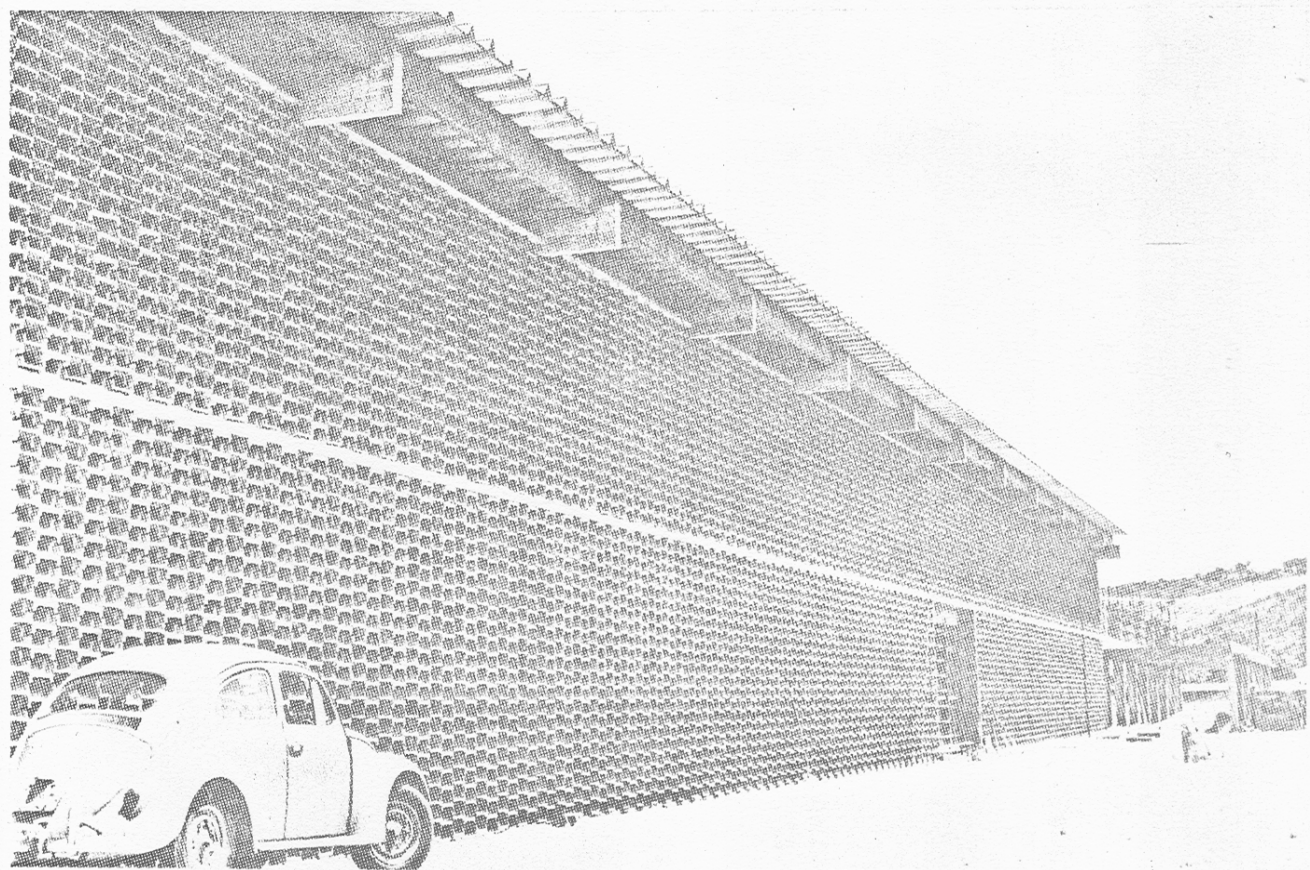
No que se refere à continuação dos trabalhos referentes ao ciclo do tório, o ano de 1968 marcou o início da fase experimental. Uma sede própria para o Grupo do Tório está em vias de ser inaugurada, contendo notadamente dois amplos laboratórios para experiências de térmica e física de reatores, que foram inteiramente projetados pela equipe do Grupo do Tório e serão excutados e montados pela indústria nacional.

A sede conterà igualmente salas de projeto e estudo que permitirão a adequada expansão do Grupo para cêrca de 70 engenheiros nos próximos três anos.

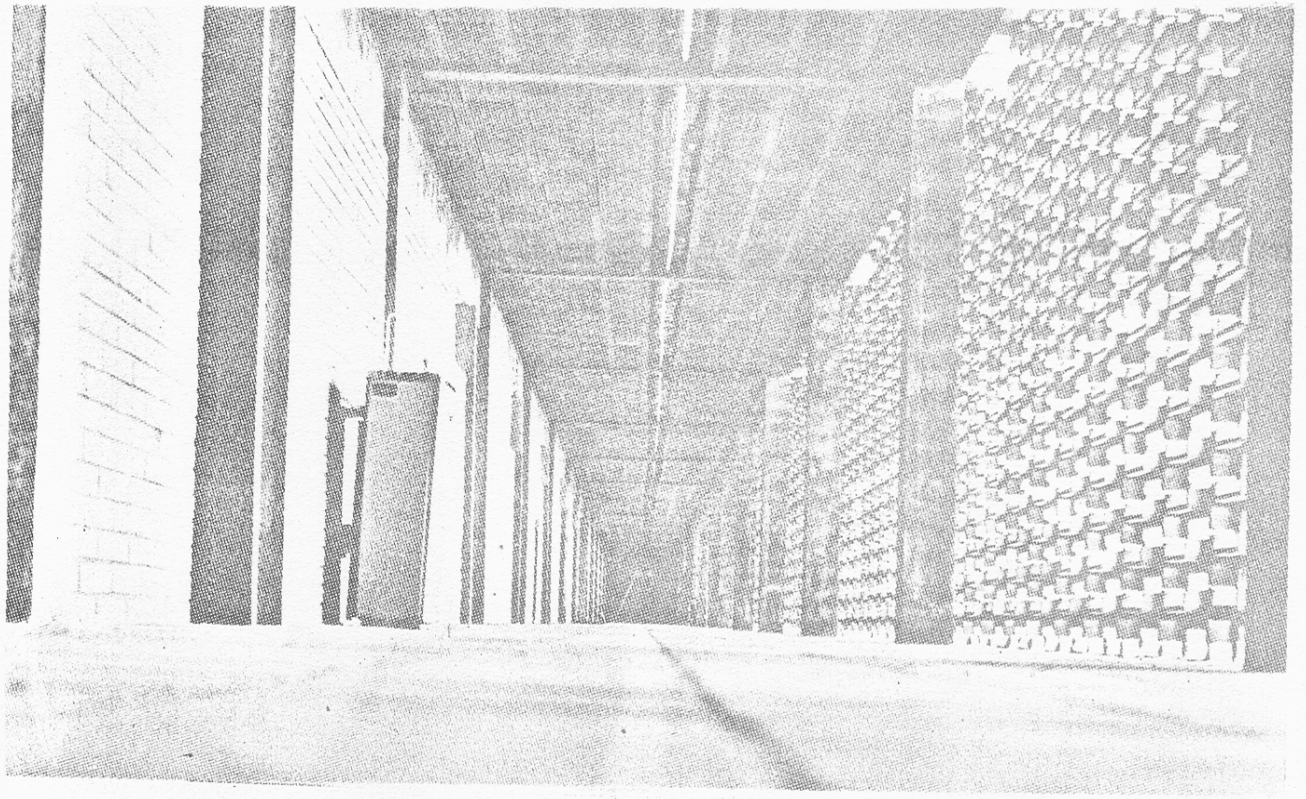
A colaboração com a França prossegue, havendo atualmente cinco engenheiros em estágios de longa duração nos laboratórios franceses, três dos quais em cursos de doutoramento, com teses referentes especificamente ao projeto do reator brasileiro.



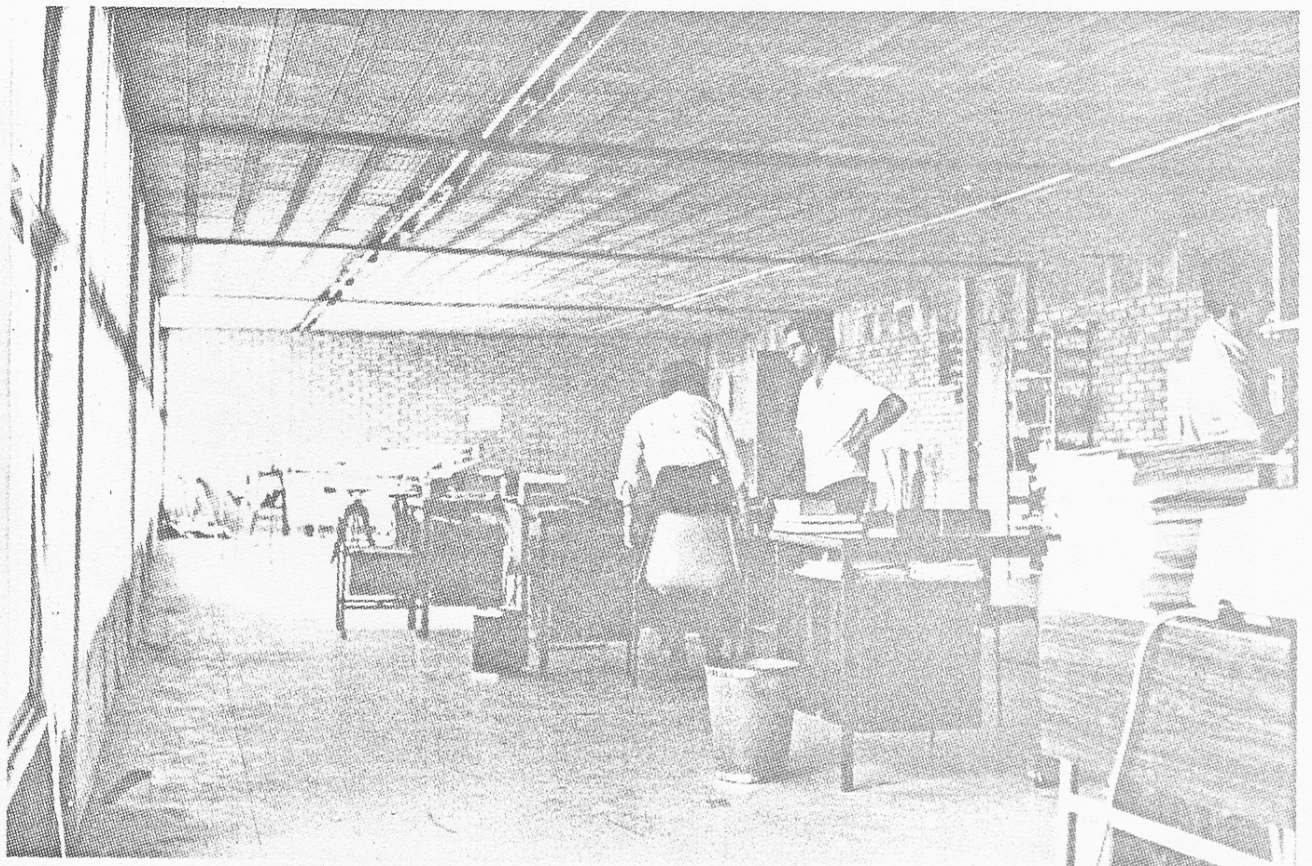
VISTA FRONTAL DO PRÉDIO DO G.T.



VISTA DA PARTE DOS FUNDOS DO PRÉDIO DO G.T.



VISTA DO CORREDOR EXTERNO DO PRÉDIO DO G.T.



VISTA DE SALA DE TRABALHO DO G.T.