

OSÉ GOLDEMBERG
Instituto de Física
Universidade de São Paulo

I. Os fatos fundamentais

Entre as inúmeras descobertas feitas por físicos nucleares na década dos 30 o fenômeno da fissão nuclear tem um relevo especial. Enquanto que nas reações nucleares usuais um projétil arranca dos núcleos pequenos fragmentos, no processo da fissão nuclear, o núcleo inicial se rompe em dois pedaços aproximadamente do mesmo tamanho, com a liberação de grande quantidade de energia, sob a forma de energia cinética dos fragmentos; esta energia cinética se dissipa, sob a forma de calor, no próprio material estrutural que é bombardeado.

Em condições adequadas, é possível fissionar praticamente todos os núcleos que existem na natureza, mas é a fissão dos elementos mais pesados como o Urânio e o Torio que se mostrou de utilização mais prática.

A fissão do Urânio 235 quando bombardeado por neutrons pode ocorrer segundo a reação (entre outras) indicada na Figura 1.

Como se pode ver, dois neutrons são produzidos nesta fissão (algumas vezes são três os neutrons produzidos por fissão, o número médio sendo de 2,5) apesar de que para iniciar o processo apenas um neutron é necessário. Consequentemente os neutrons produzidos podem iniciar outras fissões

...

originando assim uma reação em cadeia. (Fig. 2).

Se fôr suficientemente rápida, esta reação em cadeia dá origem a uma explosão nuclear; se fôr controlada ela permite construir reatores nucleares em que uma quantidade de terminada de calor é produzida continuamente pelos fragmentos de fissão; isto ocorre nas barras de urânio (ou de óxido de urânio), chamadas de elementos combustíveis; este calor pode ser retirado por um fluxo contínuo de refrigerante (água, óleo, sódio líquido ou outros) que é pois aquecido até temperaturas elevadas; o reator nuclear funciona assim como uma caldeira substituindo a caldeira convencional numa usina termoeletrica. O conteúdo energético do urânio é porém tal que a "queima" de 1 kg de Urânio corresponde a "queima" de 20 toneladas de carvão ou 100 toneladas de petróleo. (Fig. 3).

Uma complicação importante na utilização do Urânio como combustível nuclear provém do fato que ele possui dois isotopos

| | | |
|-------|---|---------------------|
| U-235 | - | 0,7% de abundância |
| U-238 | - | 99,3% de abundância |

O U-235 fissiona facilmente quando bombardeado com neutrons lentos (de baixa energia) mas o U-238 só fissiona eficientemente quando bombardeado com neutrons rápidos; em outras palavras é preciso uma pequena perturbação para fissionar o U-235 ao passo que o U-238 necessita uma perturbação maior. Por essa razão bombas atômicas são feitas com U-235; torna-se pois essencial, para elas, "enriquecer" o Urânio natural que é uma mistura dos dois isotopos em U-235. Este enriquecimento requer processos industriais muito complexos que não só exigem grandes investimentos (da ordem de 1.5 bilhões de dolares) como também um consumo gigantesco de energia (tipicamen-

te 2.000.000 de kilowatts de potência); o processo de enriquecimento é feito "forçando" hexafluoreto de urânio através de paredes porosas; nelas um dos isótopos é "filtrado" mais rapidamente do que o outro (este é o processo de difusão gasosa); a repetição de inúmeras operações deste tipo é necessária para obter um enriquecimento razoável.

Para aplicações militares, U-235 enriquecido a 95% é necessário e grandes fábricas de difusão gasosa foram instaladas nos Estados Unidos e União Soviética para esse fim sem considerações de caráter econômico. Este fato acabou tendo sérias consequências no desenvolvimento nuclear subsequente voltado para as aplicações pacíficas da energia atômica.

Vejamos agora a situação do Brasil no que se refere à geração de energia durante os próximos 10 ou 15 anos.

Apesar de dispor de um potencial hidroelétrico estimado de 150 milhões de kilowatts, a situação energética do Brasil é de molde a dar preocupações; 2/3 deste potencial é praticamente inaproveitável, uma vez que se situa longe demais dos grandes centros de consumo; este é o caso da bacia Amazônica com 70 milhões de kilowatts.

A capacidade instalada atual no País é dada na Tabela I.

A figura 4 mostra os detalhes de como a potência geradora crescerá até 1980 com a conclusão progressiva de usinas hidroelétricas em andamento, de acordo com dados de 1968, que constam de um estudo especial da Agência Internacional de Energia Atômica.

O que se conclui desta figura é que a partir de 1980 o consumo de energia elétrica se tornará maior que a

produção hidroelétrica. A única grande fonte disponível será o aproveitamento do potencial do baixo rio Paraná na fronteira com o Paraguai (Itaipu). Existem a 12 milhões de kilowatts aproveitáveis e a sua utilização tornará a situação um pouco melhor após 1980. Complicações internacionais com a Argentina introduzem incertezas na rapidez com que o aproveitamento deste potencial poderá ser feito.

TABELA I

CAPACIDADE INSTALADA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
Em MW

| Ano | Hidroelétrica | Termoelétrica | Total | Incremento Anual |
|------|---------------|---------------|-------|------------------|
| 1962 | 4126 | 1603 | 5729 | - |
| 1963 | 4479 | 1876 | 6355 | 626 |
| 1964 | 4894 | 1946 | 6840 | 485 |
| 1965 | 5391 | 2020 | 7411 | 571 |
| 1966 | 5524 | 2042 | 7568 | 155 |
| 1967 | 5787 | 2255 | 8042 | 476 |
| 1968 | 6183 | 2372 | 8555 | 513 |
| 1969 | 7857 | 2405 | 10262 | 819 |
| 1970 | 8828 | 2405 | 11233 | 1437 |
| 1971 | 10244 | 2426 | 12670 | 1707 |
| 1972 | 10974 | 2515 | 13489 | 971 |

Do ponto de vista do Estado de São Paulo a situação é um pouco mais crítica porque a Usina de Agua Vermelha é a última usina de porte a ser construída na área de ao da CESP (Centrais Elétricas de São Paulo).

Além de 1980 portanto será necessário complementar o parque energético de São Paulo (e da região Centro-Sul do Brasil) com energia termoelétrica.

A crise de petróleo que certamente irá se agravando progressivamente tornará o uso deste combustível difícil e caro; não dispondo de boas reservas de carvão será fatal recorrermos à energia nuclear como fonte complementadora do nosso parque hidroelétrico.

Como a experiência de outros países mostra que decorrem de 7 a 10 anos entre a decisão de instalar estações geradoras de potência baseadas na energia nuclear e o início de seu funcionamento efetivo, este é o momento para uma discussão aprofundada do problema.

II. Os problemas tecnológicos e soluções

O reator nuclear construído por Fermi em 1942 provou que era possível resolver os problemas fundamentais envolvidos na construção de reatores nucleares.

O problema seguinte foi porém o de construir tais instrumentos de forma adequada tanto do ponto de vista de engenharia como do ponto de vista econômico. Por mais interessantes que sejam, reatores nucleares não seriam utilizados de maneira generalizada a menos que produzissem energia a preços comparáveis aos métodos convencionais.

Houve nesta tarefa uma interferência muito grande dos problemas militares, associados aos quais teve origem o desenvolvimento da era atômica: por um lado a grande disponibilidade de Urânio enriquecido nos Estados Unidos e União Soviética tornou a utilização deste combustível quase obrigatória. Por outro lado o grande interesse em construir submarinos nucleares (ou outros meios de transporte com reatores nucleares) orientou toda a tecnologia no sentido de fabricar reatores compactos, refrigerados com água comum; é

quase impensável que alguém, desenhando um reator nuclear a ser usado num submarino, utilize sódio líquido como refrigerante apesar deste material ter vantagens sobre alguns pontos de vista.

É provavelmente devido a estes problemas que os Estados Unidos e União Soviética evoluíram - independentemente - a um conceito de reator muito semelhante: os reatores de urânio enriquecido resfriados com água comum. Esta "filosofia" de trabalho conduziu a reatores contidos em tubos de pressão que são por si sô impressionantes trabalhos de tecnologia: vasos de aço de grandes proporções, de espessura enorme, sem qualquer defeito. (Fig. 5)

Já a França e a Inglaterra que não dispunham inicialmente de Urânio enriquecido usaram outra filosofia que emana mais diretamente do primeiro reator de Fermi: Urânio natural como combustível, grafite puríssimo como moderador, o sistema todo sendo resfriado com um gás como o óxido de carbono (CO_2).

Estes reatores são mais volumosos e não usam um vaso de pressão: todo o sistema é montado no interior de um recipiente de concreto armado. (Fig. 6)

Por outro lado o Canadá utiliza ainda uma outra orientação que abandona a idéia de vasos de pressão e utiliza tubos de pressão: os elementos combustíveis são colocados no interior de tubos nos quais circula o refrigerante. (Fig. 7)

Usando Urânio natural, estes reatores necessitam de água pesada e não água comum como refrigerante.

III. O problema do combustível nuclear

A escolha do combustível nuclear a ser usado (Uranio natural ou Uranio enriquecido) é extremamente séria porque acaba orientando a tecnologia associada com o reator.

Em qualquer dos casos porém as reservas de Uranio existentes no mundo não são inesgotáveis. A tabela II dá uma idéia do que são estas reservas.

As reservas do Brasil de acordo com informações de 1968 são as da Tabela III.

A carga inicial de um reator a Uranio natural é da ordem de 100 toneladas de modo que a preocupação de que estas reservas se esgotem rapidamente levou ao estudo de reatores reprodutores (FBR - "fast breeder reactors"). Nestes, alguns dos neutrons resultantes da fissão transformam nucleos de Uranio em Plutonio que pode ser quimicamente separado e usado em outros reatores.

Desta maneira uma dada carga inicial de combustível nuclear realmente aumenta com o tempo: mais material fértil é produzido do que é consumido.

Estes reatores ainda estão em estudo mas serão os mais eficientes de todos quando forem desenvolvidos; o que os outros tipos de reatores necessitam em Uranio quando comparados com eles é dado na Tabela IV e mostra o quão eficientes já são nos dias que correm os reatores de água pesada.

Em relação ao ideal HWR (Pu) + FBR os atuais reatores de água pesada (HWR) exigirão apenas duas vezes mais Urânio enquanto que os reatores de Uranio enriquecido (LWR) exigirão seis vezes mais Uranio.

A razão principal para isso é que reatores de água pesada são eficientes produtores de Plutonio que pode, inclusive, ser usado para aplicações militares.

TABELA II
=====

RECURSOS URANÍFEROS MUNDIAIS

Milhares de toneladas de U₃O₈

| TIPO DE RECURSOS PAÍSES | Custo em dolares por Kg | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| | < 20 | | 20 a 30 | | 30 a 60 | |
| | R.R.A. | R.A.P. | R.R.A. | R.A.P. | R.R.A. | R.A.P. |
| Argentina | 11,9 | 10,2 | 9,1 | 13,2 | 14,8 | 29,5 |
| Austrália | 70,0 | 6,0 | 8,4 | 6,0 | 1,4 | - |
| Brasil | VER TABELA III | | | | | |
| Canadá | 209,9 | 208,7 | 117,9 | 154,3 | 100,0 | 300,0 |
| Dinamarca | - | - | 4,5 | - | - | - |
| Espanha | 10,0 | - | 9,1 | - | 15,0 | 250,0 |
| Estados Unidos | 226,4 | 459,9 | 127,0 | 272,0 | 100,0 | 440,0 |
| França | 41,3 | 22,4 | 8,9 | 14,1 | - | - |
| Gabão | 11,9 | 5,9 | - | 5,9 | - | - |
| Índia | - | - | 2,7 | 0,9 | - | - |
| Itália | 1,4 | - | - | - | - | - |
| Japão | 2,5 | - | 4,1 | - | - | - |
| México | 1,7 | 1,0 | - | - | - | - |
| Nigéria | 23,6 | 34,2 | 11,8 | 11,8 | - | - |
| Portugal | 8,7 | 7,1 | - | 27,2 | - | 10,0 |
| África do Sul | 181,6 | 13,6 | 59,0 | 31,8 | - | - |
| Suécia | - | - | 317,6 | 45,4 | 150,0 | 200,0 |
| Outros | 3,3 | 10,0 | 1,4 | - | 96,6 | 72,0 |
| <u>TOTAIS</u> | 761,6 | 796,8 | 682,0 | 600,7 | 477,0 | 1.338,0 |

R.R.A. - reservas razoavelmente asseguradas

R.A.P. - reservas adicionais possíveis

TABELA III
 =====

RESERVAS BRASILEIRAS EM URÂNIO (em toneladas de U_3O_8)

| | <u>Ocorrência</u> | <u>Mineral</u> | <u>Data</u> | <u>Reserva Medida</u> | <u>Reserva Inferida</u> | <u>Reserva Estimada</u> |
|------------------------------------|---|---|-------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Reservas razoavelmente asseguradas | Poços de Caldas, MG Depósitos nas praias | Óxidos amorfos Monazita | 1968 | 500 | - | 1 a 2000 |
| | | | 1968 | 50 | 40 | 400 |
| | | | | 550 | 40 | 2.400 |
| Reservas adicionais possíveis | Poços de Caldas, MG Araxá | Caldazita Pyrochloro Autunita Terras Raras Phosphatos | 1967 | 2800 | 300 | 3 a 5000 |
| | | | 1968 | | - | |
| | | | 1968 | - | - | 33000 |
| | | | 1967 | 5500 | 5500 | |
| | | | 1958 | 90 | - | |
| | 8390 | 5800 | 38000 | | | |

TABELA IV
=====

| <u>Linha</u> | <u>Necessidade de urânio</u> <u>em relação à linha ideal (HWR+FBR)</u> |
|----------------|---|
| HWR (Pu) + FBR | 1.00 |
| HWR (Pu) | 1.34 |
| HWR | 2.25 |
| LWR + FBR | 2.50 |
| LWR | 6.44 |

IV. As opções nucleares

Como resultado do diferente ataque ao problema de concepção dos reatores nucleares de potência, emergiram vários tipos de reatores bem conhecidos, representados pelas seguintes siglas:

LWR (reator de água natural)
BWR (reator de água fervente)
HWR (reator de água pesada)
HTGR (reator a gás de alta temperatura)

além de vários outros.

Tanto os Estados Unidos como a União Soviética -- por disporem de Urânio enriquecido como subproduto das aplicações militares -- desenvolveram reatores compactos (LWR e BWR) que evoluíram essencialmente a partir do tipo usado em seus submarinos nucleares e que passaram a ter nos últimos anos um grande sucesso comercial devido ao fato de se terem tornado padronizados.

A história da era atômica mostra porém que todas as demais nações -- plenamente conscientes das dificuldades de obtenção de Urânio enriquecido -- se lançaram inicialmente na linha do Urânio natural. Este é o caso da Inglaterra, França, Suécia, Checoslováquia, Canadá, Índia, Paquistão e Argentina. Esta linha assegura -- em princípio -- uma independência completa no que se refere a matérias primas.

Importantes centrais nucleares para a produção de energia foram instaladas em vários destes países usando Urânio natural e só nos últimos anos é que ocorreram modificações importantes em sua orientação, principalmente na França e na Suécia.

Boa parte da energia nuclear produzida na Inglaterra é feita nos reatores de Urânio natural e grafite; dispondo porém de usinas de enriquecimento (indispensáveis para a produção de suas armas nucleares) os ingleses diversificaram suas atividades, coexistindo no presente reatores dos dois tipos.

Na França, as modificações foram mais dramáticas : até 1969 todo o programa francês de baseava em Urânio natural e mesmo nos dias que correm mais da metade da energia nuclear da França é gerada nestes reatores (aproximadamente 3.000.000 de kilowatts).

Em 1969 houve uma importante modificação na linha seguida pela França que passou a adotar o Urânio enriquecido. A mudança foi assim explicada, na época, pelo Primeiro Ministro Jacques Chaban-Delmas: "A fim de tentar manter sua independência no que se refere a matérias primas a Comissão de Energia Atômica da França lançou o programa de Urânio natural que nos permitiu instalar centrais nucleares. Tecnicamente esta operação teve sucesso mas nos últimos 5 anos (de 1965 a 1969) o preço do óleo combustível caiu de 50% de modo que no presente (1969) esta linha não produz eletricidade competitivamente. O governo francês decidiu por isso continuar suas pesquisas nesta direção -- como também no processo que emprega água pesada, desenvolvido no Canadá e que demonstrou ser economicamente viável -- afim de manter a possibilidade de independência. Ao mesmo tempo, o governo francês decidiu autorizar a Companhia de Eletricidade da França durante o VI Plano Quinquenal (1970-1975) a encomendar e construir 4 ou 5 estações nucleares de Urânio enriquecido que dependem de tecnologia americana ou alemã".

Apesar da violenta oposição provocada na França por esta decisão, ela foi posta em execução e Francis Perrin, Comissário para a Energia Atômica, explicou "que até 1975 apenas metade das estações nucleares francesas usarão Urânio enriquecido. Além de 1975 a independência nacional da França será progressivamente comprometida a menos que fábricas europeias ou francesas de enriquecimento sejam instaladas". Grandes progressos foram feitos nesta direção pelos franceses, em colaboração com outras nações europeias, usando a técnica das ultra-centrífugas mas o processo ainda não está industrialmente estabelecido.

A decisão da França de mudar sua linha do Urânio natural por Urânio enriquecido foi considerada por muitos observadores como resultado de pressões políticas e econômicas.

A Checoslováquia depois de construir e operar com sucesso um protótipo de 150.000 kilowatts de Urânio natural e água pesada aderiu à linha padronizada de reatores da União Soviética que usa o Urânio enriquecido. O mesmo ocorreu com a Suécia que adquiriu reatores alemães com Urânio enriquecido dos Estados Unidos.

O Canadá, Índia, Paquistão e Argentina, porém, firmaram sua orientação em reatores de Urânio natural e água pesada e o sucesso da operação da grande central nuclear canadense de Pickering (a 30 quilômetros de Toronto com uma capacidade de 2.400.000 kilowatts) começa a fazer impacto no mercado mundial. A Argentina acaba de escolher um reator deste tipo para a sua segunda central nuclear a ser instalada em Córdoba. A Itália está considerando a instalação de um reator deste tipo de 800.000 kilowatts.

Tecnicamente as duas linhas nucleares estão firmemente estabelecidas. O que ocorrerá no futuro foi muito bem expresso pelo vice-presidente da Comissão de Energia Atômica do Canadá, Donald Watson em Outubro de 1972 na inauguração de um reator no Paquistão. "Política e não economia, decidirá provavelmente se os reatores de Urânio natural e água pesada serão ou não aceitos pelos países em desenvolvimento" disse Watson. De acordo com ele, três são as questões que um país em desenvolvimento deve perguntar a si mesmo:

1. O país deseja desenvolver sua própria indústria e fabricar e montar os componentes dos reatores e o seu combustível de modo a se tornar independente, em última análise?
2. O país deseja economizar divisas estrangeiras ao longo dos anos evitando comprar combustível de alto custo?
3. O país deseja simplificar o manuseio dos resíduos radioativos quando estes não puderem mais ser enviados ao supridor do combustível?

"Se as respostas a estas perguntas forem positivas então o país deve escolher reatores de Urânio natural", disse Watson. "Na base de argumentos econômicos o custo unitário da eletricidade é muito próximo nos dois sistemas (Urânio natural ou Urânio enriquecido)". "Dependendo das hipóteses feitas, pode-se chegar a resultados que favorecem levemente um ou outro dos sistemas mas a verdade é que são basicamente os mesmos".

A tabela V mostra custos comparativos de reatores nucleares de mesma capacidade de Urânio enriquecido (BWR) e Urânio natural (HWR).

TABELA V
=====

USINA NUCLEAR DE 600 MW

Custo estimativo de instalação* (em milhões de dolares)

| | <u>BWR</u> <u>Urânio enriquecido</u> | <u>HWR</u> <u>Urânio natural</u> |
|-------------------------------|---|-------------------------------------|
| Terreno | 0.800 | 0.800 |
| Obras civis | 16.725 | 14.705 |
| Reator e equipamento | 52.731 | 92.490 (1) |
| Turbinas e geradores | 27.525 | 26.050 |
| Equipamento elétrico | 5.500 | 3.710 |
| Diversos | <u>.400</u> | <u>.781</u> |
| <u>SUBTOTALS</u> | 103.681 | 138.536 |
| Administração | 2.100 | 2.110 |
| Treinamento de Operadores | .550 | .550 |
| Contingências | 10.349 | 13.834 |
| Primeira carga de combustível | <u>20.338</u> | <u>6.250</u> |
| <u>SUBTOTALS</u> | 137.018 | 161.280 |
| Juros durante a construção | <u>32.582</u> | <u>38.320</u> |
| <u>TOTAIS</u> | 169.600 ===== | 199.600 ===== |

* - De um estudo de 1968 da Agência Internacional de Energia Atômica.

(1) - Inclui o custo da água pesada.

O custo de instalação do reator do tipo HWR é aproximadamente 15% maior do que o do tipo LWR. Note-se no entanto o custo do combustível que é três vezes maior no LWR do que no HWR; durante a operação do reator este custo maior tornará mais cara a energia produzida pelo tipo LWR. Como resultado final os dois tipos de reatores se equilibram do ponto de vista estritamente econômico.

É oportuno talvez mencionar aqui o programa seguido pela Índia, adotado agora pela Argentina e que se tornará provavelmente a estratégia típica dos países em desenvolvimento. A figura 8 mostra claramente qual é este programa.

Reatores de Urânio natural no primeiro estágio dão origem a reatores de Plutônio num segundo estágio e a reatores reprodutores num terceiro estágio, incluindo o uso do Tório como material fértil.

Estas considerações são oportunas diante do que está ocorrendo presentemente em nosso País. Com a instalação da Usina Atômica de Angra dos Reis que utiliza Urânio enriquecido e que será importada como um todo, usando muito pouco da indústria nacional (além das obras civis), parece que está se fixando a decisão de orientar todo o programa brasileiro na linha do Urânio enriquecido, apesar de que durante algum tempo a Usina de Angra dos Reis pareceu ser uma iniciativa isolada dentro do nosso programa nuclear. Isto é o que se depreende de declaração de dirigentes da Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN) de que a empresa "construirá e operará instalações de tratamento de minérios nucleares e seus associados e instalações destinadas ao enriquecimento do Urânio".

Esta é uma decisão extremamente importante -- de consequências que transcendem o problema econômico da geração de energia -- que não pode ser tomada sem uma discussão aprofundada no mais alto nível governamental.

Ignorar as tremendas dificuldades envolvidas no enriquecimento do Urânio (além dos segredos militares e industriais ainda existentes neste campo) tornará fatal o uso, por tempo indefinido, de Urânio enriquecido adquirido no Exterior, ao qual toda nossa tecnologia ficará indissoluvelmente ligada. A importação de Urânio enriquecido a preços crescentes e com o qual se repetirá dentro de alguns anos -- com maior gravidade -- a crise que ocorre atualmente com o petróleo é um risco do qual nossas autoridades precisam ser alertadas.

Já existe, como se sabe, um prenúncio de crise mundial de Urânio enriquecido com a demanda prevista superior à produção; as instalações americanas são incapazes de suprir as necessidades mundiais mas a tecnologia será transferida a empresas particulares que estão no momento tentando conseguir contratos para fornecimento a longo prazo deste material, para garantir um mercado certo para seu produto.

Há dúvidas de que este esquema funcionará sobretudo porque começaram a surgir objeções a ele, mesmo dentro dos Estados Unidos. A exportação de Urânio enriquecido é equivalente à de exportar certos tipos de combustíveis convencionais como petróleo que são indispensáveis no processo de enriquecimento sob a forma de eletricidade. Com as disponibilidades de petróleo baixando gradativamente é difícil acreditar que a exportação de Urânio enriquecido pelas grandes nações não comece a sofrer restrições.

Neste quadro inquietante, insistir na linha do Urânio enriquecido sem um estudo aprofundado das alternativas -- que existem e são tecnicamente viáveis -- não nos parece ser a melhor política para o País.

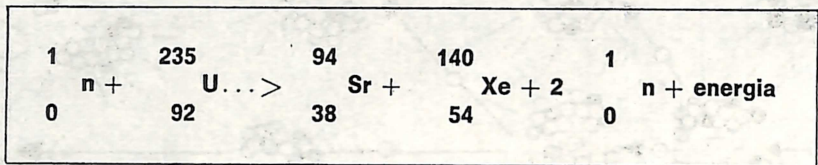


Fig. 1

A fissão do urânio induzida por neutrons

ST 0502 20 003597 A

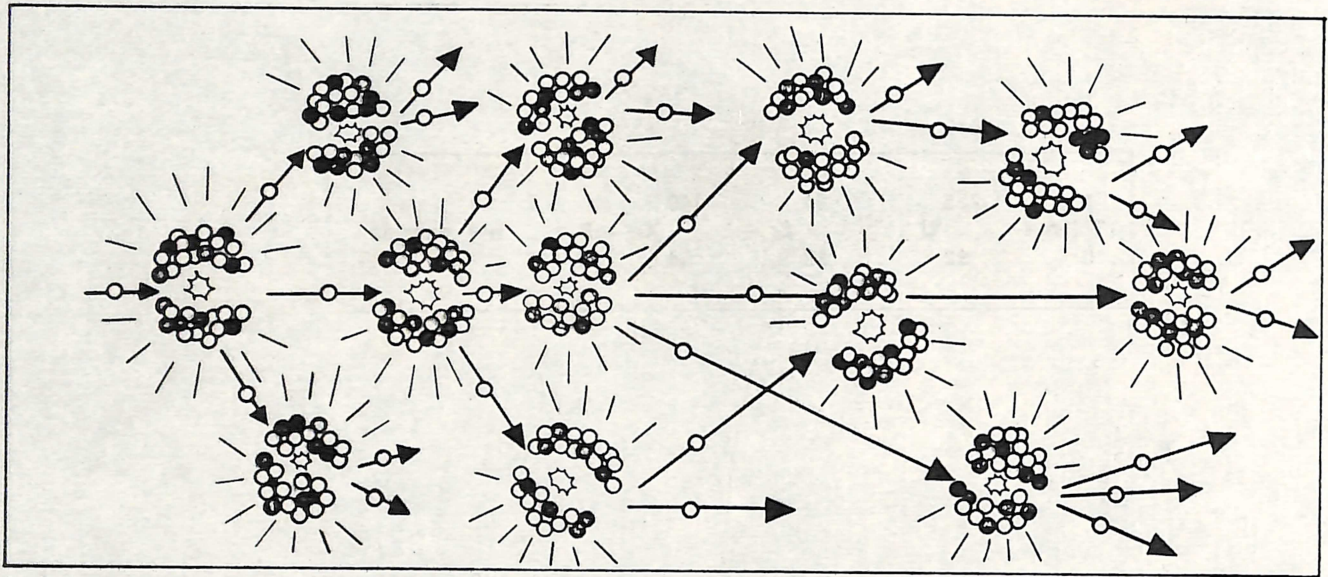


Fig. 2

A reação em cadeia

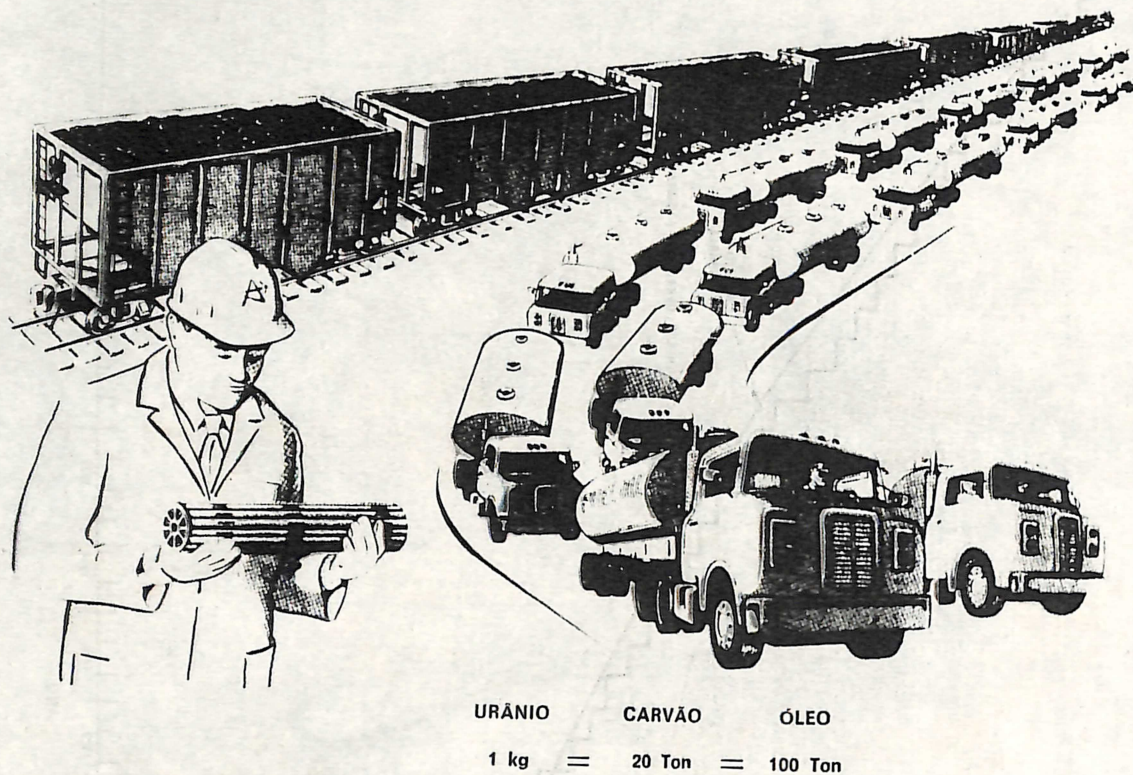


Fig. 3

O conteúdo energético do urânio comparado com o do carvão e petróleo

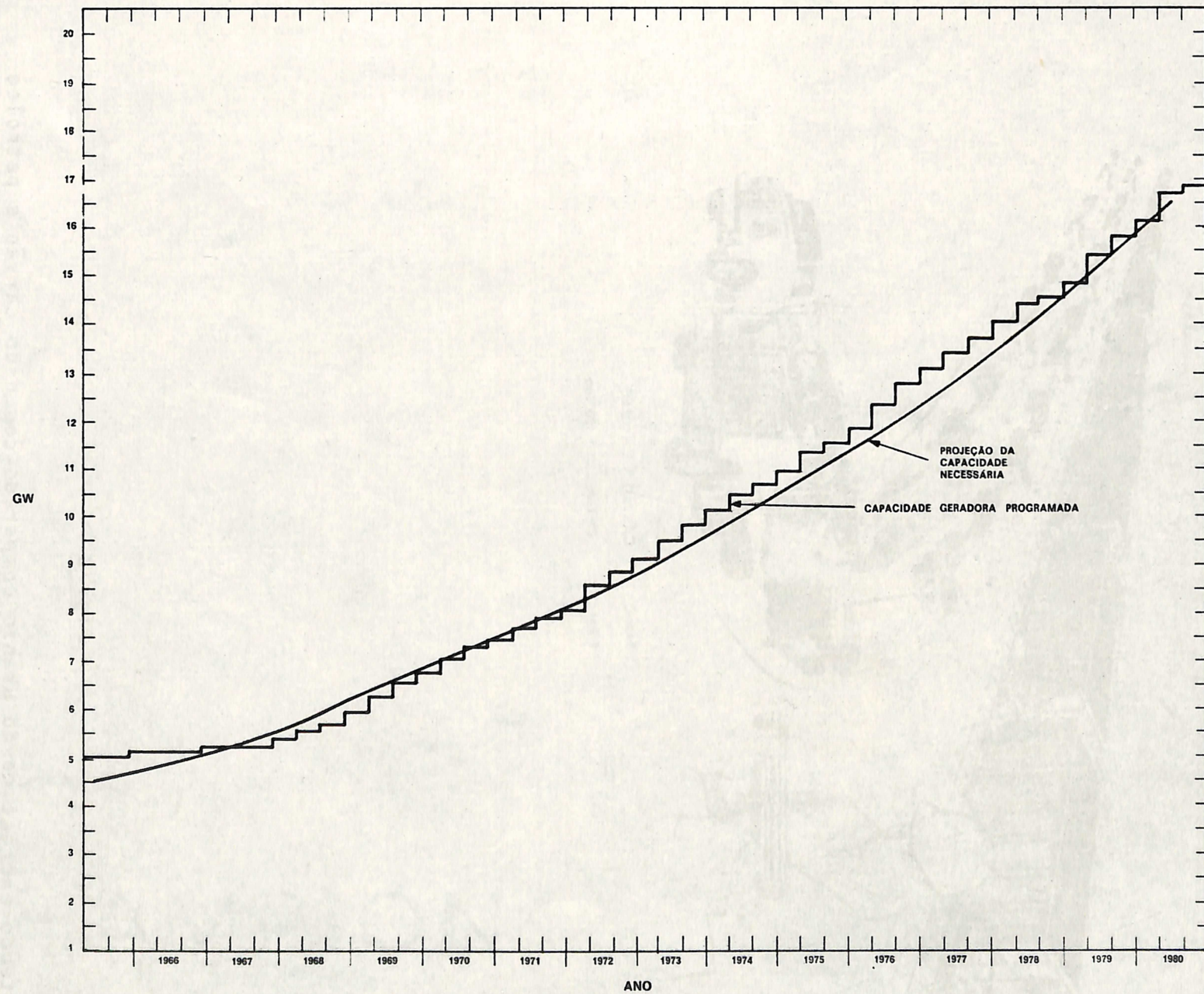


Fig. 4

A projeção da capacidade elétrica necessária no Brasil até 1980 e a capacidade geradora programada.

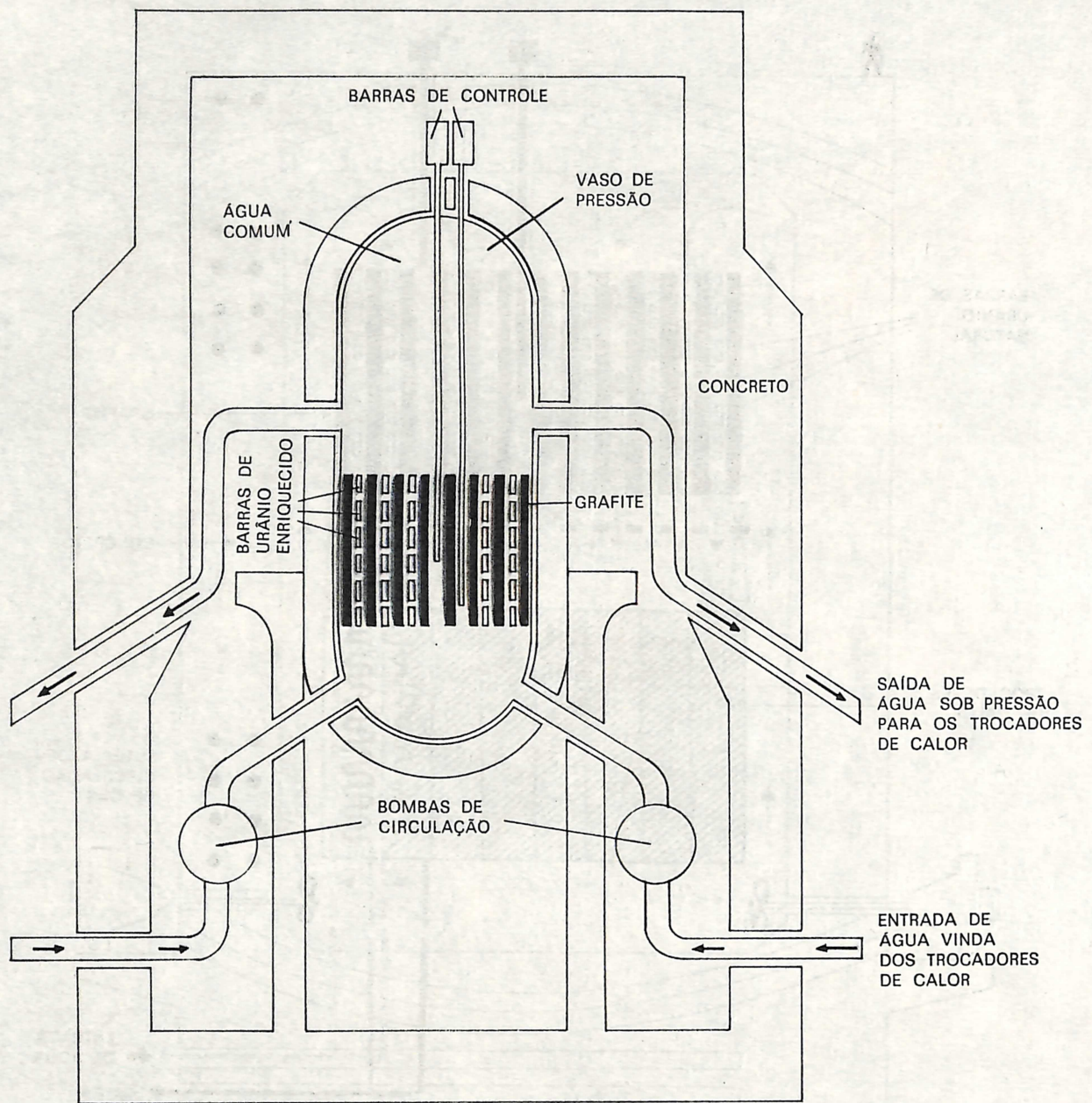


Fig. 5

Reator do tipo de urânio enriquecido (com vaso de pressão)

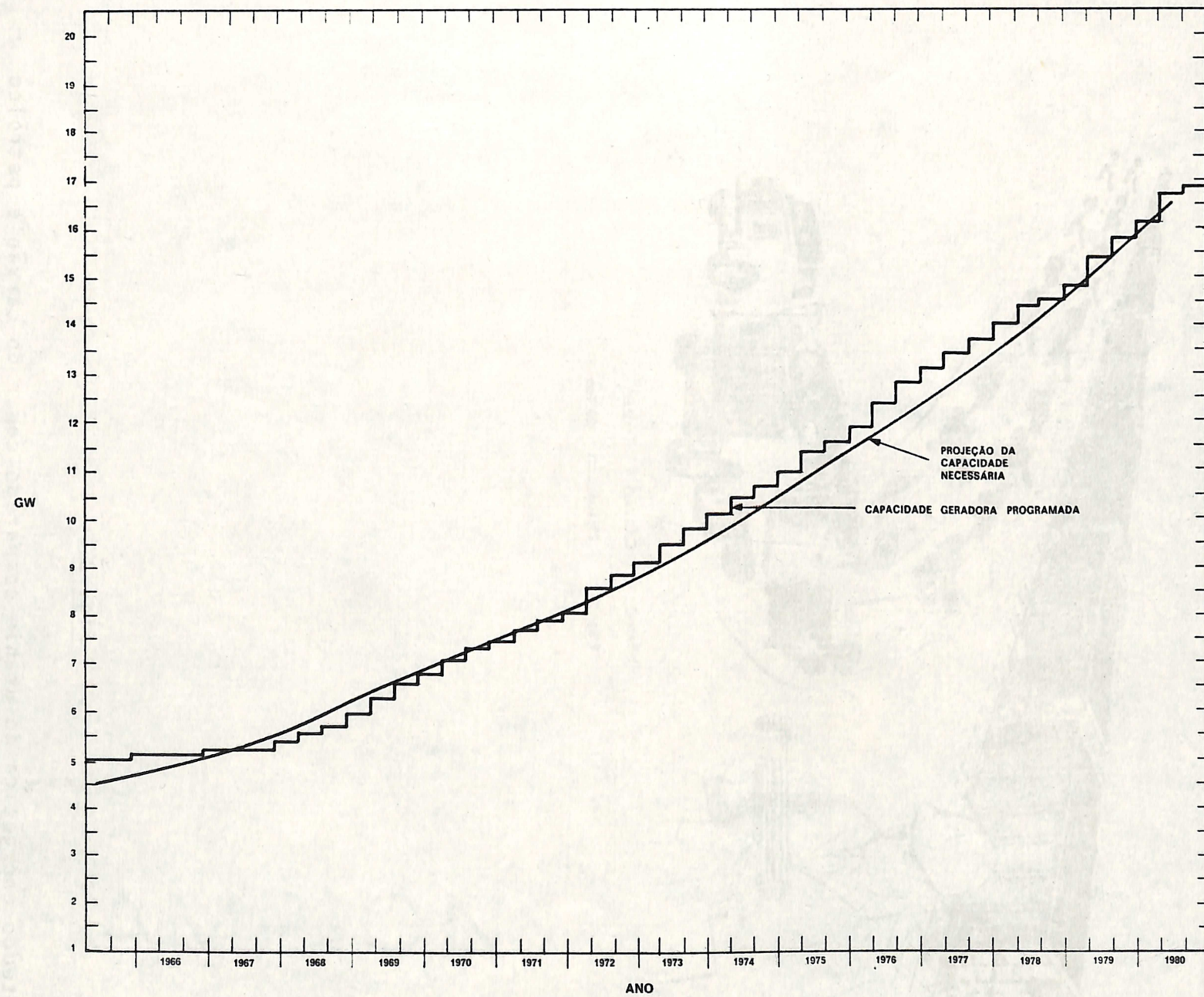


Fig. 4

A projeção da capacidade elétrica necessária no Brasil até 1980 e a capacidade geradora programada.

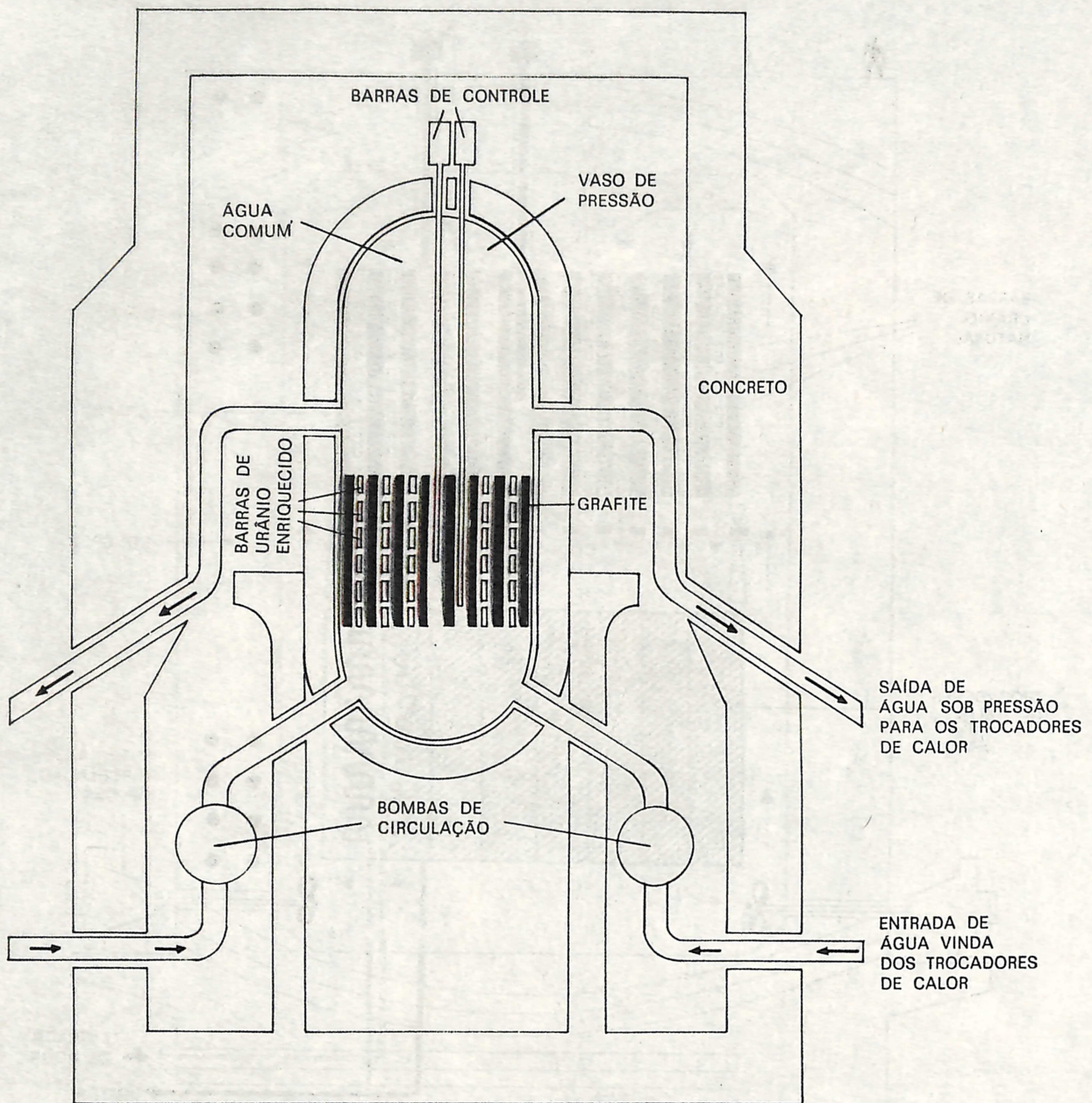


Fig. 5

Reator do tipo de urânio enriquecido (com vaso de pressão)

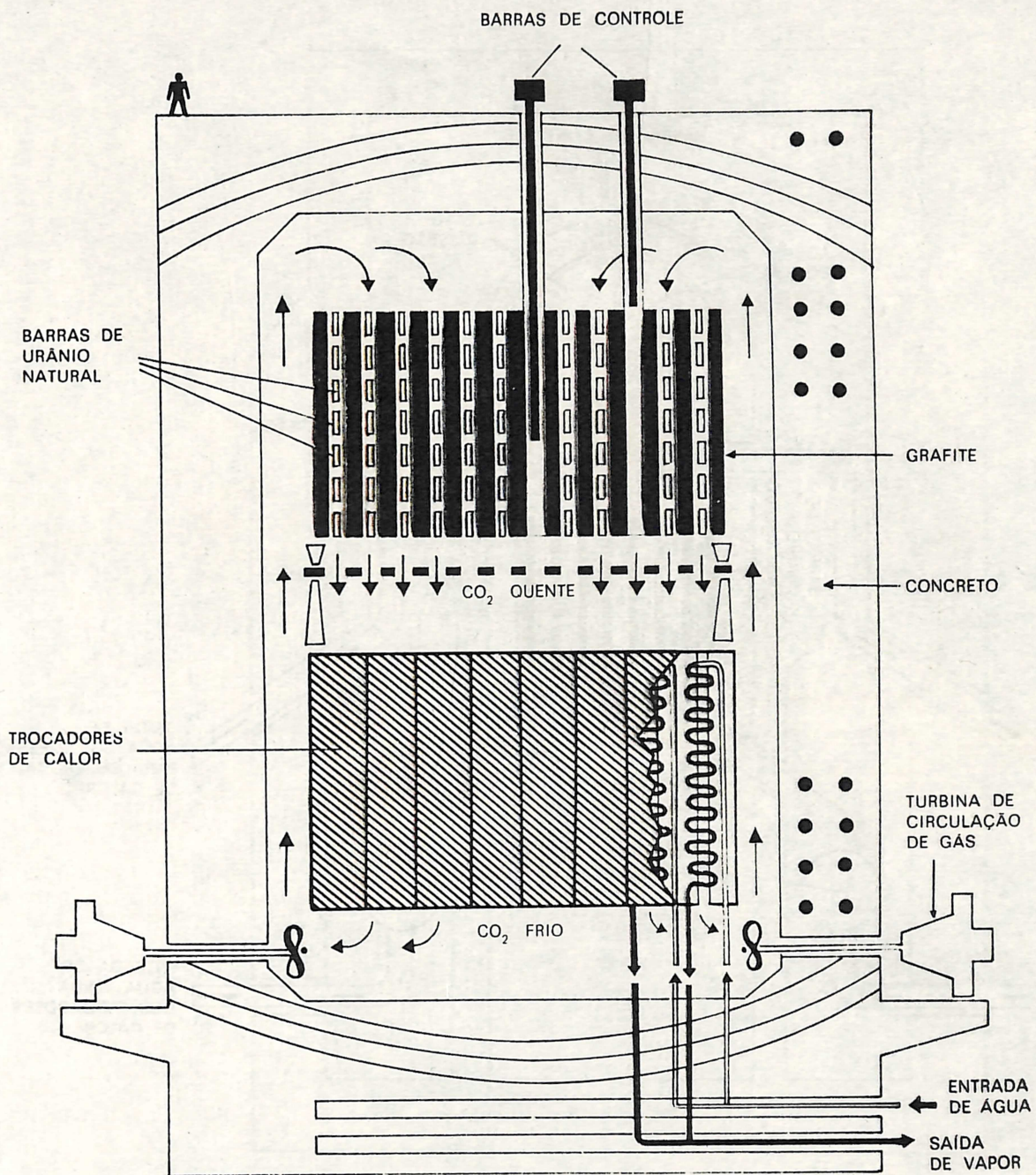


Fig. 6

Reator do tipo de urânio natural resfriado a gás (sem vaso de pressão)

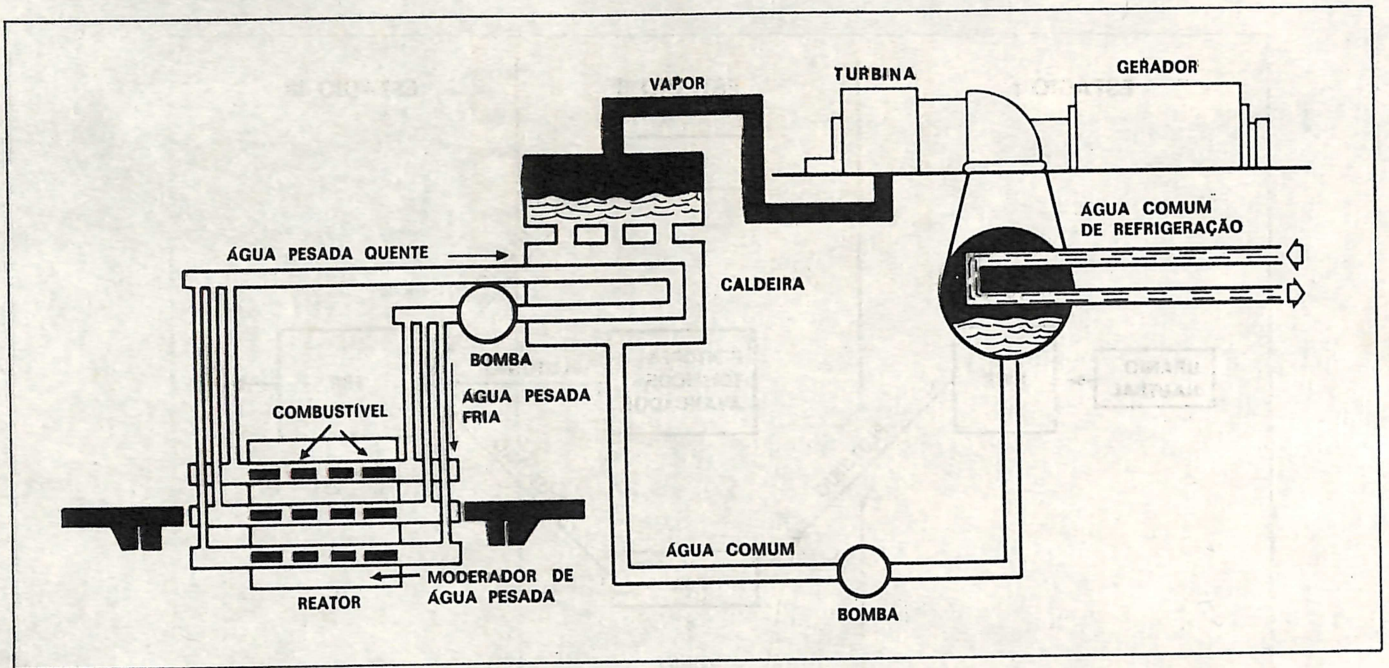


Fig. 7

Reator do tipo urânio natural e água pesada (com tubos de pressão)

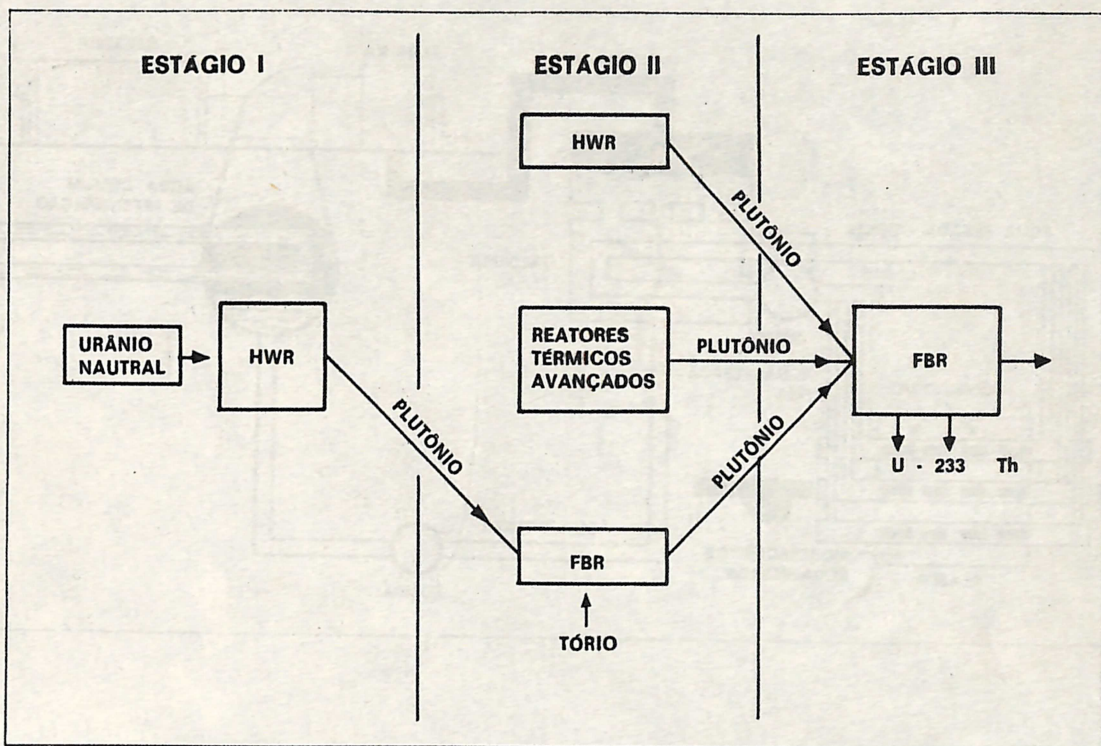


Fig. 8

O programa nuclear da Índia com seus 3 estágios (HWR - reator de urânio natural e água pesada; FBR - reator reprodutor rápido).