

ENERGIA NUCLEAR

Energia nuclear, energia liberada durante a fissão ou fusão dos núcleos atômicos. As quantidades de energia que podem ser obtidas mediante processos nucleares superam em muito as que se pode obter mediante processos químicos, que só utilizam as regiões externas do átomo.

O átomo é formado por um pequeno núcleo, carregado positivamente, rodeado de elétrons. O núcleo, que contém a maior parte da massa do átomo, é composto de nêutrons e prótons, unidos por intensas forças nucleares, muito maiores que as forças elétricas que ligam os elétrons ao núcleo. O número de massa A de um núcleo expressa o número de núcleons (nêutrons e prótons) que o núcleo contém; o número atômico Z é o número de prótons, partículas com carga positiva. A energia de ligação de um núcleo é a intensidade com que as forças nucleares mantêm ligados os prótons e nêutrons. A energia de ligação por núcleon, isto é, a energia necessária para separar do núcleo um nêutron ou um próton, depende do número de massa A .

A fusão de dois núcleos leves libera milhões de **elétronvolts** (MeV). Também se libera energia nuclear quando se induz a fissão de um núcleo pesado.

Fissão nuclear

Uma reação de fissão nuclear libera uma energia 10 milhões de vezes maior que uma convencional. A fissão de 1 kg de urânio 235 libera 18,7 milhões de kilovolts/hora em forma de calor. O processo de fissão iniciado pela absorção de um nêutron por um núcleo de urânio 235 também libera uma média de 2,5 nêutrons, além de dois novos núcleos, provocando novas fissões nos núcleos de urânio 235, constituindo assim uma reação em cadeia que leva à liberação continuada de energia nuclear.

Os primeiros reatores de energia nuclear em grande escala foram construídos em 1944, nos Estados Unidos, para a produção de material para **armas nucleares**. Posteriormente, em todo o mundo, foram construídos diferentes tipos de reator (diferenciados pelo combustível, pelo moderador e pelo refrigerante empregados) para a produção da energia elétrica. O *reator a água leve* usa como combustível o urânio 235 (também chamado de urânio enriquecido) e como moderador e refrigerante água comum muito purificada. No *reator a água pressurizada*, o moderador e refrigerante é água leve a uma pressão de cerca de 150 atmosferas. A maior parte dos reatores nucleares para produção de energia elétrica construídos no mundo é desse tipo, incluindo o da usina brasileira de Angra 1 (ver **Energia nuclear no Brasil**). No *reator a água em ebulição*, a água de refrigeração se mantém a uma pressão menor, o que faz com que ferva. Outros tipos de reator menos usados incluem o *reator a água pesada*, no qual o combustível é urânio 238 (urânio natural) e o moderador e refrigerante é o **deutério**, um isótopo do hidrogênio; e os reatores rápidos, em que a fissão é feita por nêutrons rápidos, isto é, de altas energias (nos outros tipos, são usados nêutrons de baixas energias, também chamados nêutrons térmicos). Nos reatores rápidos, o combustível pode ser urânio natural, tório ou **plutônio**. São refrigerados a sódio e não utilizam moderador, justamente para manter a alta energia dos nêutrons.

A queima do combustível nuclear no reator resulta nos chamados produtos de fissão. São **isótopos** que não existem naturalmente e são altamente **radioativos**. Alguns permanecem milhares de anos liberando radiação. Por isso, seu manuseio e seu armazenamento exigem cuidados especiais.

Fusão nuclear

A liberação de energia nuclear pode produzir-se também através da fusão de dois núcleos leves em um mais pesado. A energia irradiada pelo Sol deve-se a reações de fusão que se produzem em seu interior.

A fusão nuclear artificial foi obtida pela primeira vez em princípios da década de 1930, com o bombardeio de um alvo que continha deutério por núcleos de deutério, acelerados num ciclotron para alcançar altas energias (ver **Aceleradores de partículas**). Na década de 1950, produziu-se a primeira liberação em grande escala de energia de fusão em testes de armas nucleares realizados pelos Estados Unidos, a antiga União Soviética, a Grã-Bretanha e a França. É um tipo de liberação breve e não controlada, que serve para bombas, mas não para a produção de energia elétrica.

A ciência ainda não conseguiu resolver o principal problema para a utilização comercial da fusão nuclear na produção de eletricidade: a energia necessária para acelerar os núcleos de deutério e fazê-los colidirem e se fundirem é muito maior que a energia obtida. Por isso, os pesquisadores ainda buscam maneiras mais eficientes de esquentar o gás a altas temperaturas e armazenar uma quantidade suficiente de núcleos durante um tempo longo o bastante para permitir a liberação de uma energia maior que a necessária para aquecer e armazenar o gás. Outro problema importante é a captura dessa energia e sua conversão em eletricidade.

Em dezembro de 1993, os pesquisadores da Universidade de Princeton, nos Estados Unidos, usaram o Reator Experimental de Fusão Tokamak para produzir uma reação de fusão controlada que gerou 5,6 megawatts. O reator consumiu mais energia do que produziu durante seu funcionamento.

Se a energia de fusão se tornar viável, oferecerá as seguintes vantagens: 1) uma fonte ilimitada de combustível, o deutério procedente da água dos oceanos; 2) baixo risco de acidente no reator, já que a quantidade de combustível no sistema é muito pequena; e 3) resíduos muito menos radioativos e mais simples de manejar que os procedentes dos sistemas de fissão.¹

Energia nuclear no Brasil, fonte energética pouco expressiva no país, tendo em vista que o potencial hidrelétrico brasileiro ainda não foi totalmente aproveitado. O Brasil busca, porém, dominar a tecnologia da geração de energia nuclear, considerando a sua importância para a segurança nacional e para o futuro do país, como fonte útil para o meio de transporte no espaço e nos mares, como é o caso do submarino nuclear em construção pela Marinha brasileira. Ver **Recursos energéticos**.

Apesar de o desenvolvimento da física nuclear no Brasil ter começado em 1938, no Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (o departamento iniciou seus estudos sobre fissão nuclear quase na mesma época em que pesquisas semelhantes ocorriam no exterior), o interesse pelas aplicações desse tipo de energia só surgiu depois do fim da II Guerra Mundial. Materializou-se a partir dos anos 50, quando o **almirante Álvaro Alberto**, envolvendo a comunidade científica, alertou o governo da sua importância para a segurança do país.

Dois foram os principais debates que surgiram na ocasião em relação à energia nuclear. Em primeiro lugar, discutiu-se a exportação indiscriminada, pelo Brasil, de

suas reservas de minérios de importância nuclear, como o urânio e tório. A segunda questão polêmica foi a fracassada tentativa de compra, pelo Brasil, de ultracentrífugas de origem alemã, equipamentos destinados ao enriquecimento de urânio (ver **Energia nuclear**; **Urânio**). Impedido de adquiri-las, porque às nações detentoras da tecnologia de produção do urânio enriquecido não interessava repassá-la a países em vias de desenvolvimento, o Brasil, país rico em minérios atômicos, decidiu lançar-se numa linha autônoma de pesquisas, que permitisse o uso do urânio natural. Para isso foi criado em 1951 o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), atualmente rebatizado de Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e, em 1956, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Enquanto ao CNPq caberia financiar pesquisas e a formação de pesquisadores, à CNEN foi dada a tarefa de desenvolver a utilização da energia nuclear em todas as formas de aplicação pacífica, com crescente autonomia tecnológica; garantir a segurança das usinas nucleares, das instalações do ciclo de combustível e das demais instalações nucleares e radioativas. Foram vinculados à CNEN os seguintes institutos de pesquisa e desenvolvimento nuclear: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em São Paulo; o Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), em Belo Horizonte; o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e o Instituto de Energia Nuclear (IEN), os dois últimos no Rio de Janeiro.

No final dos anos 60, a situação brasileira em relação à tecnologia nuclear continuava, contudo, a ser de dependência em relação ao exterior. A linha de pesquisas de aproveitamento do urânio natural pouco havia avançado. Em 1969, o governo brasileiro decidiu construir uma usina nuclear na praia de Itaorna, no município fluminense de Angra dos Reis. Adquiriu um reator de urânio enriquecido nos Estados Unidos. Esta decisão foi muito criticada pelos físicos brasileiros, principalmente porque a compra se deu em regime de *turn-key*, o que significava um pacote fechado de equipamentos, que não permitia o acesso à tecnologia. A construção da usina, mais tarde batizada de Angra I, começou em outubro de 1972. Prevista para entrar em operação comercial em 1979, sofreu grande atraso, só sendo inaugurada em 1983.

Ainda na década de 70, o governo do presidente **Ernesto Geisel** assinou um amplo acordo de transferência de tecnologia nuclear com a então República Federal da Alemanha. Assinado em 1974, incluía, além da aquisição de usinas nucleares, a possibilidade de transferência das diversas tecnologias do ciclo do combustível nuclear, tais como o enriquecimento e o reprocessamento de urânio. Na realidade, o processo de enriquecimento a ser transferido, batizado de jato centrífugo, encontrava-se ainda em estudos nos laboratórios alemães, portanto sua aplicação era muito duvidosa.

Com o acordo com a Alemanha, o governo federal decidiu erguer mais duas usinas em Angra dos Reis. Batizou o complexo de Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. O reator de Angra I (com 620 MW de potência) é do tipo PWR (reator de água leve pressurizada). As duas outras unidades — Angra II e Angra III — previstas no projeto inicial somam uma capacidade total de 2.600 MW. Com reatores também de água leve pressurizada, foram adquiridas em indústrias alemãs. Angra I é a única em funcionamento até os dias de hoje. Para 1999 prevê-se a entrada em operação de Angra II.

Ao longo dos anos 80, o ambicioso programa de cooperação nuclear com a Alemanha desenhado na década anterior foi sendo gradativamente reduzido. Nesse período, o Brasil conseguiu dominar a tecnologia de algumas etapas da fabricação do combustível nuclear que periodicamente abastece a usina de Angra I.

Em setembro de 1987, porém, o governo do presidente **José Sarney** anunciou o domínio da tecnologia de enriquecimento de urânio por ultracentrifugação, admitindo que pesquisas alternativas e autônomas vinham ocorrendo em segredo, no IPEN, em São Paulo. De fato, um dos mais avançados resultados no campo da energia nuclear vem sendo obtido pela Marinha, que objetiva a construção de um submarino de propulsão nuclear, assim como uma tecnologia brasileira de construção de reatores nucleares.

*Ver também **Recursos energéticos**.*²

Recursos energéticos, conjunto de meios com os quais os países do mundo tentam atender às suas necessidades de energia. As principais fontes energéticas são o petróleo e o gás natural, o carvão, os combustíveis sintéticos, energia nuclear, energia solar, biomassa e energia geotérmica.

O petróleo cru e o gás natural são encontrados em quantidades comerciais em reservas sedimentarias situadas em mais de 50 países de todos os continentes. As maiores jazidas se encontram no Oriente Próximo, onde se concentram mais da metade das reservas conhecidas de petróleo cru e quase um terço das reservas conhecidas de gás natural.

O carvão é um termo genérico para designar uma grande variedade de materiais sólidos com um alto conteúdo de carbono. A maioria é queimada em centrais térmicas para gerar vapor d'água destinado a impulsionar os geradores elétricos. Também se usa parte do carvão nas fábricas para proporcionar calor aos prédios e aos processos industriais; Uma variedade especial de carvão de alta qualidade é transformada em coque metalúrgico para a fabricação de aço.

Os combustíveis sintéticos são fabricados a partir de substâncias existentes na natureza. Os dois combustíveis sintéticos mais utilizados são o gasóleo e aqueles fabricados a partir do carvão.

A energia nuclear é gerada através da fissão de átomos de urânio. O calor deste processo de fissão é empregado para impulsionar uma turbina que gera eletricidade. O reator nuclear e o equipamento de geração elétrica são apenas parte de um conjunto de atividades interrelacionadas. A produção de um fornecimento seguro de eletricidade a partir da fissão nuclear exige processos industriais muito complexos e interativos, e conhecimentos muito especializados.

A energia solar não é apenas uma tecnologia energética, mas também um termo que se aplica a diversas tecnologias de energias renováveis. Sua característica comum é que, ao contrário de quase todas as demais, é inesgotável. Este tipo de energia se divide em três grandes grupos: aplicações para calefação e refrigeração, geração de eletricidade e produção de combustíveis a partir da biomassa, que incluem formas diferentes, entre elas os combustíveis de álcool, o esterco e a lenha.

A energia geotérmica se baseia no fato de que a Terra fica mais quente quanto mais profundamente se perfura. A energia geotérmica pode originar-se de vapor de água encontrado em grandes profundidades sob a superfície terrestre. Fazendo com que chegue até a superfície, pode mover uma turbina para gerar eletricidade. Outra possibilidade é o aquecimento de água pelo bombeamento através de rochas quentes profundas. Ainda que essa fonte de energia seja uma teoria ilimitada, na maior parte

das áreas habitadas do planeta as rochas aquecidas estão situadas em camadas profundas demais, fazendo com que não seja rentável perfurar poços para sua utilização.³

³*Enciclopédia® Microsoft® Encarta 99.* © 1993-1998 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.