

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE A ENERGIA NUCLEAR

Hilton Andrade de Mello
Eng. Eletrônico e Nuclear
Ex-Diretor do Instituto de Engenharia Nuclear

1. Introdução

Quando a mídia se manifesta sobre a energia nuclear, são salientados os aspectos negativos da mesma, pois a área sempre será estigmatizada pelos efeitos devastadores das bombas nucleares que explodiram sobre **Hiroshima** e **Nagasaki**, e pelos poucos, mas relevantes acidentes nucleares, como o das centrais de **Three-Mile Island** nos Estados Unidos, **Chernobyl** na Rússia, e, mais recentemente, o acidente com a central nuclear de **Fukushima** no Japão, em consequência do Tsunami que atingiu a região.

Sempre é enfatizado que as centrais hidrelétricas são maravilhosas e que a energia solar, a eólica (ventos) e a biomassa são as soluções ideais e definitivas para o futuro da humanidade.

Até que ponto as informações que chegam ao público são polarizadas, representando interesses corporativos ou mesmo uma informação técnica inadequada?

Por exemplo, o leitor já leu alguma coisa sobre o enorme impacto ambiental causado pela construção de Itaipu?

E sobre a usina de Balbina, que alagou uma área enorme de floresta com árvores nobres?

E o desastre causado pelo rompimento da barragem de Morvi, na Índia, que ocorreu em 11 de agosto de 1979, inundando a cidade de Morvi, matando milhares de pessoas?

E o desastre de Bhopal, ainda na Índia, em uma fábrica de pesticidas da Union Carbide, em 1984, quando mais de duas mil pessoas tiveram morte quase imediata pelo contato com um gás (isocianato de metila) e outros produtos químicos usados na fabricação, e que vazaram?

E o acidente com o oleoduto da Petrobrás em Cubatão, em 24/2/1984, quando 700 mil litros de gasolina vazaram, provocando um incêndio que destruiu a vila Socó, matando “oficialmente” 93 pessoas?

E, novamente no Brasil, o acidente com o Açude de Orós no Ceará, que em 1960 se rompeu e inundou o vale do rio Jaguaribe, destruindo casas, rebanhos e plantações, fazendo dezenas de vítimas?

E nos Estados Unidos, a barragem de “St. Francis”, ao norte de “Los Angeles”, que desmoronou provocando também uma grande destruição e a morte de mais de 470 pessoas?

Na realidade não há nenhuma obra de engenharia que seja totalmente segura, e que se possa garantir que nunca ocorrerá um acidente com ela. O que se faz é minimizar os riscos, e fazer com que, em caso de acidente, os danos causados à população sejam mínimos.

No momento em que as preocupações com o meio ambiente tomam proporções significativas, é importante que o leitor tenha informações em uma linguagem clara, para que forme uma opinião concreta sobre o tema. Essa é a razão dessa seção “O BRASIL E A ERA NUCLEAR” no meu “site”.

Mas para que os demais artigos dessa série sejam bem assimilados, apresentamos neste artigo alguns conceitos básicos sobre a área nuclear. Espero que, lendo este e os demais artigos, os nossos leitores se sintam à vontade para tomar uma posição sobre um assunto tão importante para o Brasil.

2. Conceitos básicos

2.1 Como a matéria é constituída

Afinal, o que é realmente a água que bebemos? O que é o sal tão usado na nossa cozinha? Vamos entender um pouquinho sobre esse assunto.

Suponhamos que temos um copo d’água e que dividimos a água em duas metades. Ora, as duas porções d’água continuam obviamente com as mesmas propriedades da água inicial. E se novamente dividirmos uma das metades, obtendo um quarto da quantidade de água inicial. Novamente essa quarta parte tem exatamente as mesmas propriedades da água original. E se continuarmos esse processo indefinidamente, será que obteremos sempre algo com as mesmas propriedades da água?

A resposta é NÃO! Há uma menor porção de qualquer substância que mantém as mesmas propriedades da mesma. A essa menor porção chamamos de MOLÉCULA da substância. A figura 1 ilustra o que acabamos de descrever, sendo importante salientar que a figura é apenas ilustrativa, pois a molécula é invisível a olho nu.

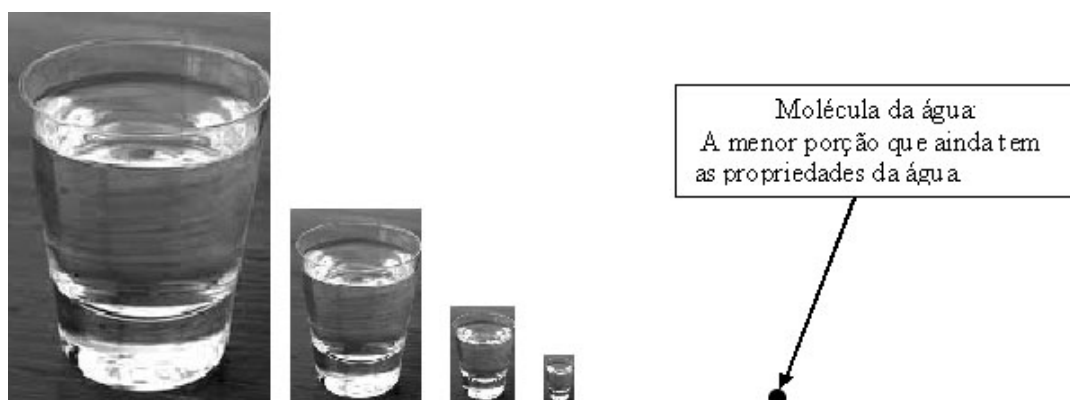


Figura 1- Molécula da água : A menor porção de água possível

Isso acontece com todas as substâncias existentes. Assim sendo, podemos falar da molécula do cloreto de sódio (sal de cozinha), molécula de bicarbonato de sódio (usado nos antiácidos), molécula de sulfato de cálcio (gesso), etc.

E se penetrarmos em de uma molécula? O que encontraremos? Aí surge um fato extraordinário.

Todas as moléculas são formadas por somente 92 estruturas, que são chamadas de ÁTOMOS, e que correspondem aos 92 elementos existentes na natureza. O nome ÁTOMO, em grego, significa “indivisível”, porque quando eles foram descobertos, achava-se que eles eram estruturas indivisíveis. Mais tarde veremos que os átomos na realidade não são unidades indivisíveis, mas estruturas complexas, formadas por diversos tipos de **partículas**.

Alguns elementos são bastante comuns e, na tabela 1, mostramos alguns deles, com seus nomes e os chamados símbolos químicos, chamando a atenção que alguns nomes são bem diferentes dos símbolos, face à origem do nome: por exemplo, *Kalium* para o elemento Potássio.

ELEMENTO	SÍMBOLO QUÍMICO	ORIGEM DO SÍMBOLO
Cálcio	Ca	
Carbono	C	
Cloro	Cl	
Enxofre	S	De Sulphur (Latim)
Ferro	Fe	
Hidrogênio	H	
Mercúrio	Hg	De H idrargyrium (Latim)
Nitrogênio	N	
Ouro	Au	De A urum (Latim)
Oxigênio	O	
Potássio	K	De K alium (Latim)
Prata	Ag	De A rgentum (Latim)
Sódio	Na	De N atrium (Latim)
Tungstênio	W	De W olfram (German)

Tabela 1 - Exemplos de elementos

Vamos agora aprofundar um pouco mais o nosso conhecimento. O leitor lembra que é comum chamarmos a água de “**H dois O**”. Porque fazemos isso?

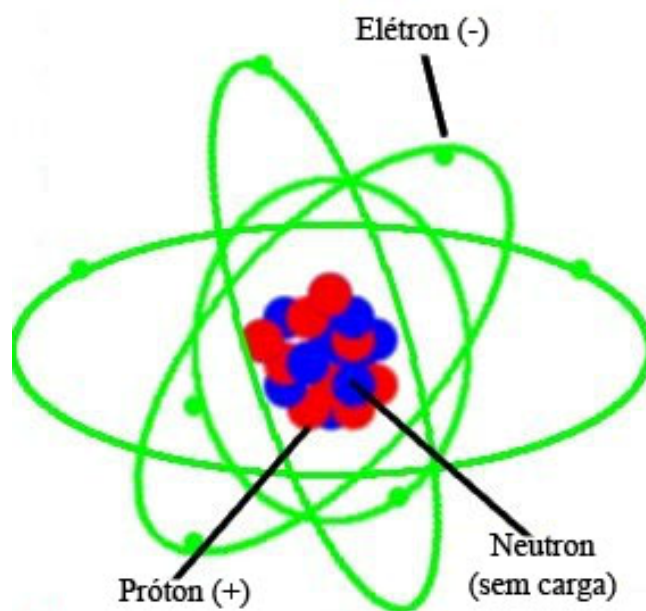


Figura 2 - Representação “esquemática” da estrutura de um átomo

O que diferencia os átomos dos diversos elementos é o número dessas partículas que estão presentes nos mesmos. A tabela 3 mostra o número de partículas presentes em uma série de átomos. O número de prótons de um átomo (coluna 3) é chamado de **NÚMERO ATÔMICO**, e é representado pela letra “**Z**”.

1 Elemento	2 Número de nêutrons (N)	3 Número de Prótons (Z)	4 Número de elétrons	5 Número de massa ($A=N+Z$)
Alumínio	14	13	13	27
Carbono	6	6	6	12
Cobre	34	29	29	63
Hélio	2	2	2	4
Hidrogênio	0	1	1	1
Magnésio	12	12	12	34
Ouro	118	79	79	197
Oxigênio	7	8	8	15
Prata	60	47	47	107
Sódio	10	11	11	21
Urânio	146	92	92	

Tabela 3 - Estrutura de alguns átomos

O leitor atento, já deve ter percebido que os valores das colunas 3 e 4 são iguais; isto é, num átomo normal o número de prótons é igual ao número de elétrons. Isso significa que um átomo normal, apresenta, no total, uma carga elétrica nula, uma vez que o número de prótons (+) é igual ao número de elétrons (-).

A soma do número de prótons e do número de nêutrons é chamado de **NÚMERO DE MASSA** ($A=N+Z$) e corresponde à coluna 5 da tabela.

Por convenção os átomos são representados pelo seu símbolo, acrescentado-se os números atômico e de massa. Por exemplo, ${}_{79}\text{Au}^{197}$ para o ouro, ${}_{6}\text{C}^{14}$ para o carbono, ${}_{47}\text{Ag}^{107}$ para a prata, e assim por diante.

Vamos agora entender o que chamamos de **ISÓTOPOS**. Para isso vamos tomar o oxigênio como exemplo. Na tabela 3 mostramos que o átomo de Oxigênio tem 8 prótons e 7 nêutrons. Mas essa história está incompleta! Na realidade, há cinco átomos diferentes de oxigênio, todos com o **MESMO NÚMERO ATÔMICO**, mas com o número de nêutrons diferentes. Esses diversos “tipos de oxigênio” são chamados de **ISÓTOPOS** do oxigênio e são mostrados na tabela 4.

Isótopos	Número de prótons	Número de nêutrons
Oxigênio 15	8	7
Oxigênio 16	8	8
Oxigênio 17	8	9
Oxigênio 18	8	10
Oxigênio 19	8	11

Tabela 4 - Isótopos do Oxigênio

O nome **ISÓTOPOS** (do grego **iso=mesmo, topos=lugar**), provem do fato de na classificação periódica da tabela 2, todos esses elementos serem mostrados no **MESMO LUGAR**, uma vez que a classificação é feita por ordem do número atômico (número de prótons) e todos os isótopos de um mesmo elemento têm o mesmo número atômico.

Outro exemplo são os três isótopos do hidrogênio, mostrados na tabela 5.

Isótopos do Hidrogênio	Número de prótons	Número de nêutrons	Número de massa
Hidrogênio 1	1	0	1
Hidrogênio 2 (Deutério)	1	1	2
Hidrogênio 3 (Trício)	1	2	3

Tabela 5 - Isótopos do hidrogênio

Então, usando a representação apresentada anteriormente, temos os seguintes isótopos do hidrogênio: ${}_1\text{H}^1$, ${}_1\text{H}^2$ (Deutério) e ${}_1\text{H}^3$ (Trício).

Do mesmo modo, vejamos o que acontece com um elemento extremamente importante para a área nuclear, que é o urânio. Na tabela 6 apresentamos os isótopos do urânio, mostrando também, na última coluna, a abundância desses isótopos no minério encontrado na natureza.

Isótopos do Urânio	Número de prótons	Número de nêutrons	Número de massa	Abundância na natureza (%)
Urânio 234	92	142	234	0,0055
Urânio 235	92	143	235	0,72
Urânio 238	92	144	238	99,2745

Tabela 6 - Isótopos do Urânio

Observamos que no minério de urânio há uma grande predominância do urânio-238, e uma quantidade ínfima de urânio-234. Nos reatores do tipo que temos no Brasil, que é o tipo mais espalhado pelo mundo (reatores do tipo PWR), o urânio que é usado para fabricar o elemento combustível é o urânio-235 com uma concentração de aproximadamente 4%. Já podemos então vislumbrar que, para ser usado em um reator nuclear, precisamos descobrir um modo de passar a concentração de urânio-235 de 0,7% para cerca de 4%, que é a necessária para um reator operar adequadamente.

Abordaremos esse tópico mais tarde, mas podemos adiantar um fato importante. Sabemos que as reações químicas surgem quando os elétrons dos átomos interagem entre si, para formar a molécula da substância. Por exemplo, o sal de cozinha (cloreto de sódio, NaCl) resulta da reação do sódio com o cloro. Apenas os **elétrons** do Sódio e do Cloro, interagem nesse processo, e nada se passa com os núcleos dos átomos. Ora, os “urânios” (234, 235 e 238) todos têm o mesmo número atômico e, portanto o mesmo número de elétrons; conseqüentemente eles são absolutamente indistinguíveis nas reações químicas. Isto significa que não há como separar esses três tipos de urânio por nenhum processo químico. Esse é um tema importante para a área nuclear e será abordado em detalhes, posteriormente.

2.3. A radioatividade

2.3.1 Generalidades

Comumente, é atribuída a Antoine Henri Becquerel a descoberta “acidental” de um fenômeno, chamado de radioatividade, em que um certo composto de urânio sensibilizava uma chapa fotográfica. Na realidade, a descoberta de Becquerel não foi acidental, pois estava dando continuidade a várias pesquisas que estavam sendo feitas em torno de 1895. A continuidade dessas pesquisas mostrou que certos elementos emitiam radiações (partículas e radiação eletromagnética), e esse fenômeno foi batizado de “radioatividade”. A Radioatividade é chamada de natural quando emitida espontaneamente por elementos existentes na natureza e de radioatividade artificial quando produzida por elementos criados pelo homem.

Quando nos referimos a partículas, estamos nos referindo às nossas já conhecidas: próton, nêutron, elétron, partícula alfa (núcleo do elemento Hélio) e outras.

Quanto às radiações eletromagnéticas estamos nos referindo a formas de energia que se propagam no vácuo com a velocidade da luz; algumas dessas radiações são bastante conhecidas, como os raios ultravioleta, os raios infravermelho e os raios X.

Na figura 3, apresentamos o que chamamos de “**espectro das radiações eletromagnéticas**”, para que o leitor tenha uma idéia da abrangência dessas radiações. Observamos que a luz visível, isto é a luz que os nossos olhos podem perceber, são as ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda na faixa de 400 a 700 nanômetros*.

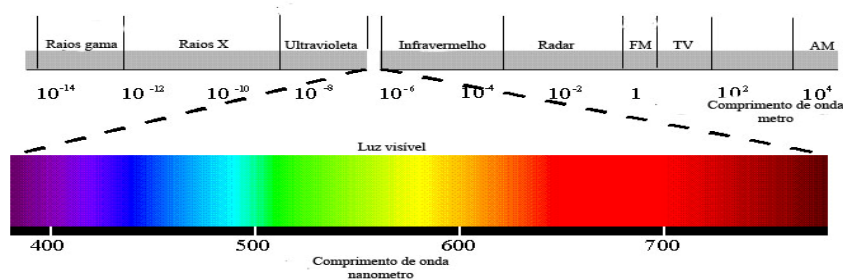


Figura 3 - Espectro das radiações eletromagnéticas

Os chamados raios gama, emitidos por alguns elementos radioativos são também uma forma de radiação eletromagnética, da mesma natureza que os raios X, radiação ultravioleta, etc.

Nas rochas, encontramos muitos elementos radioativos, como o urânio-235, urânio-238, tório-232, rádio-226 e rádio-228. E, mesmo nas plantas, encontramos traços de materiais radioativos.

Vamos considerar um elemento bastante conhecido, o Iodo. O iodo tem 30 isótopos, mas apenas o iodo-127 é estável (${}_{53}\text{I}^{127}$). Os outros isótopos são todos instáveis, isto é, radioativos. Por exemplo, o iodo-131 (${}_{53}\text{I}^{131}$), muito usado em medicina, emite vários tipos de radiações e acaba se transmutando no Xenônio-131 (${}_{54}\text{Xe}^{131}$), que é estável.

(*) O nanômetro é um submúltiplo do metro e equivale a 0,000000001 metro

Na natureza, a radioatividade terrestre provem principalmente, de três famílias ou séries radioativas que são a série do urânio-238, a série do urânio-235 e a série do tório. Os elementos dessas séries são gerados, sequencialmente, por transmutações sucessivas. O interessante é que, no fim, essas três séries conduzem a isótopos estáveis do chumbo. O urânio-238 leva ao chumbo-206, o urânio-235 ao chumbo-207 e o tório ao chumbo-208. Há outros elementos, não pertencentes a essas séries, que também são radioativos, tais como o potássio-40 e o carbono-14, este último muito usado em *datação radioativa*, na arqueologia e paleontologia. Finalmente, há a radioatividade natural proveniente do espaço, os chamados *raios cósmicos*, que estão bombardeando continuamente o nosso planeta.

Um exemplo importante para o Brasil é o das areias monazíticas, existentes na costa do Espírito Santo, cuja radioatividade é produzida principalmente pelo tório-232, radônio-226 e potássio-40, e que são ricas em diversos minerais valiosos para a indústria, como a ilmenita (titanato de ferro), o rutilo (dióxido de titânio), a zirconita (silicato de zircônio) e a monazita (fosfato de terras raras). No nosso site há um artigo específico sobre as areias monazíticas, cuja extração e beneficiamento estão a cargo da INB - Indústrias Nucleares do Brasil.

Vários isótopos radioativos são produzidos pelo homem. Por exemplo, o cobalto-60 e o céσιο-137, são elementos importantes na medicina nuclear, pois as suas irradiações são utilizadas para atacar tumores cancerígenos. Outros exemplos interessantes são os isótopos produzidos no *Instituto de Engenharia Nuclear*, na Ilha do Fundão, em uma máquina chamada de **ciclotron**. Lá, são produzidos o iodo-123, usado em diagnósticos em substituição ao iodo-131, e o flúor-18, importante para os equipamentos modernos de imagem chamados de PET.

2.3.2 - Como medir a atividade de um material radioativo?

Bem, para isto temos que definir uma unidade. Ora, explicamos anteriormente que os elementos radioativos sofrem desintegrações, emitindo radiações. Então nada mais justo que definir a unidade em termos do número de desintegrações por segundo. Em homenagem a Becquerel, definimos a atividade de uma desintegração por segundo como Becquerel; e chamamos de Curie, e em homenagem a Marie Curie, uma unidade mais cômoda para trabalhar e que corresponde a atividade de $3,7 \times 10^{10}$ Becquerel.

UNIDADE DE ATIVIDADE
Bq (Becquerel) = 1 desintegração por segundo
Ci (Curie) = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

Por exemplo, em um exame típico de cintilografia da glândula tireóide, são usados cerca de 0,001 Ci de iodo-131 ou 0,005 Ci de tecnécio-99.

2.3.3 - Meia-vida de um material radioativo

Um parâmetro importante relacionado à radioatividade é o que se chama de *meia-vida* de um elemento radioativo; esse parâmetro é definido como o tempo necessário para que a atividade do material se reduza à metade. Por exemplo, o cobalto-60 tem uma meia-vida de 5,24 anos. Já o céσιο-137 tem uma meia-vida de 33 anos. Na tabela 7, apresentamos a meia-vida de alguns isótopos importantes.

Isótopo	Meia-vida
Césio-137	33 anos
Cobalto-60	5,24 anos
Flúor-18	2 horas
Iodo-123	13 horas
Iodo-131	8 dias
Tecnécio-99	6 horas

Tabela 7 - Meia-vida de alguns isótopos

3 – A Fissão nuclear

Em dois de agosto de 1939, Albert Einstein enviou ao presidente americano*, Frank Delano Roosevelt, uma famosa e importante carta em que alertava o Presidente, sobre as pesquisas que estavam sendo feitas no mundo, sobre as possibilidades de uso do urânio na geração de energia:

“Nos últimos quatro meses, foi confirmada a possibilidade – graças aos trabalhos de Joliot-Curie, na França e os de Fermi e Szilard, na América – que pode tornar possível estabelecer uma reação nuclear em cadeia, numa grande massa de urânio, que geraria uma grande quantidade de energia e numerosos elementos radioativos... Parece quase certo que esse feito pode se tornar realidade em um futuro próximo...”

Em agosto de 1945 o presidente dos Estados Unidos Harry S. Truman autorizou o lançamento das bombas atômicas sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, plantando o estigma que até hoje existe sobre a energia nuclear.

Einstein estava se referindo ao fenômeno da “fissão” do urânio, que como o nome em português indica, refere-se a “dividir” o núcleo de um átomo pesado, como o urânio, com a geração de núcleos “mais leves”, e a liberação de uma quantidade de energia. Vamos entender esse fenômeno tão importante para a área nuclear.

Quando um núcleo de urânio-235 é bombardeado por um nêutron com a energia adequada, o núcleo de urânio se divide, isto é, sofre um processo de fissão; nesse processo são formados dois elementos mais leves (por exemplo, bário e criptônio), e são emitidos nêutrons adicionais e uma determinada quantidade de energia. É interessante observar que outros pares de elementos podem ser gerados no processo de fissão do urânio-235, tais como rubídio e cézio, estrôncio e xenônio, e muitos outros.

O processo de fissão do urânio-235 é esquematizado na figura 4.

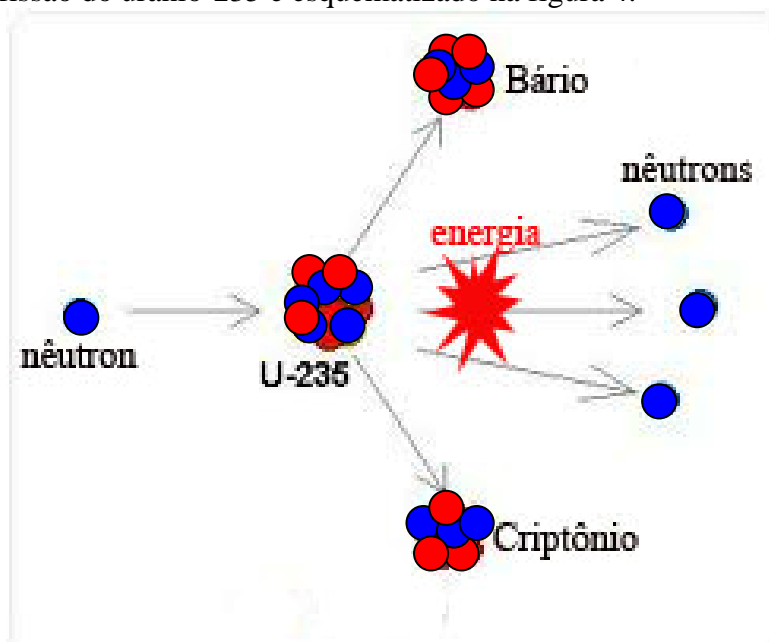


Figura 4 - Ilustração da fissão do urânio

(*) Na realidade Einstein enviou 4 cartas ao Presidente americano; essas cartas podem ser lidas, por exemplo, em <http://hypertextbook.com/eworld/einstein.shtml>

4 - Reação nuclear em cadeia

Imaginemos agora que temos uma massa de urânio-235 e fazemos incidir um feixe de nêutrons sobre a mesma. Ora, em cada fissão, como mostra a figura 4, são emitidos novos nêutrons que obviamente poderão provocar a fissão de outros átomos de urânio, e esse processo pode continuar até não haver mais átomos de urânio disponíveis. Temos então o que chamamos de uma **reação em cadeia**, com a liberação de uma grande quantidade de energia.

5 - O Ciclo do combustível

Entendemos como Ciclo do Combustível nuclear, ao conjunto de processos que se inicia com a prospecção de urânio, prossegue com o seu beneficiamento e termina com a fabricação do elemento combustível a ser usado nas usinas nucleares.

Segundo dados oficiais das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), o Brasil ocupa a sexta posição no *ranking* mundial de reservas de urânio, e as duas principais reservas são a de Caetité, na Bahia e a de Santa Quitéria, no Ceará, devendo ser ressaltado que apenas da ordem de 25% do território brasileiro foi explorado, o que pode significar que há reservas muito maiores no Brasil.

Após a obtenção do minério de urânio, complexas etapas tecnológicas são realizadas para se obter o produto necessário para a etapa mais complexa do processo, que estudaremos a seguir.

Os reatores nucleares do tipo usados nas centrais de Angra dos Reis usam um combustível nuclear onde o urânio-235 precisa ter uma concentração de aproximadamente 4%, mas vimos que, na natureza, o urânio-235 aparece apenas com uma concentração de 0,7%.

É necessária então uma etapa extremamente importante, que é chamada de **enriquecimento de urânio**; essa etapa é uma tecnologia muito sensível e importante, uma vez que o país que a domina, pode, em princípio, produzir um enriquecimento muito maior do que o necessário para a geração de energia elétrica, visando à produção de armas nucleares. Aliás, esta é, no momento, a preocupação do mundo com o programa nuclear do Irã.

Já verificamos que não há como fazer a separação dos isótopos do urânio usando qualquer método químico, face aos mesmos terem o mesmo comportamento químico. No mundo, os processos mais importantes empregados são a **difusão gasosa** e a **ultracentrifugação**. Esse último processo foi o escolhido pela Marinha do Brasil para desenvolver a tecnologia de enriquecimento, item vital para o desenvolvimento de submarinos nucleares, tendo em vista que o Brasil já tinha feito no passado uma incursão no estudo das ultracentrífugas.

Conceitualmente, a idéia é simples, pois uma ultracentrífuga é uma unidade que gira a altíssimas velocidades, fazendo com que o urânio-238, que é ligeiramente mais pesado que o urânio-235 se desloque para a periferia da ultracentrífuga, enquanto que o urânio 235, mais leve, fica mais próximo do eixo central. Na realidade trata-se de uma tecnologia extremamente sofisticada, que poucos países possuem, e que exigiu um imenso esforço tecnológico para o seu sucesso.

Um ponto a salientar é que cada ultracentrífuga produz um enriquecimento diminuto, de modo que para passar de 0,7% para 4%, é necessário montar uma cascata de ultracentrífugas. Na figura 8, mostramos um esquema de uma ultracentrífuga para o enriquecimento de urânio, juntamente com a sugestão de uma cascata.

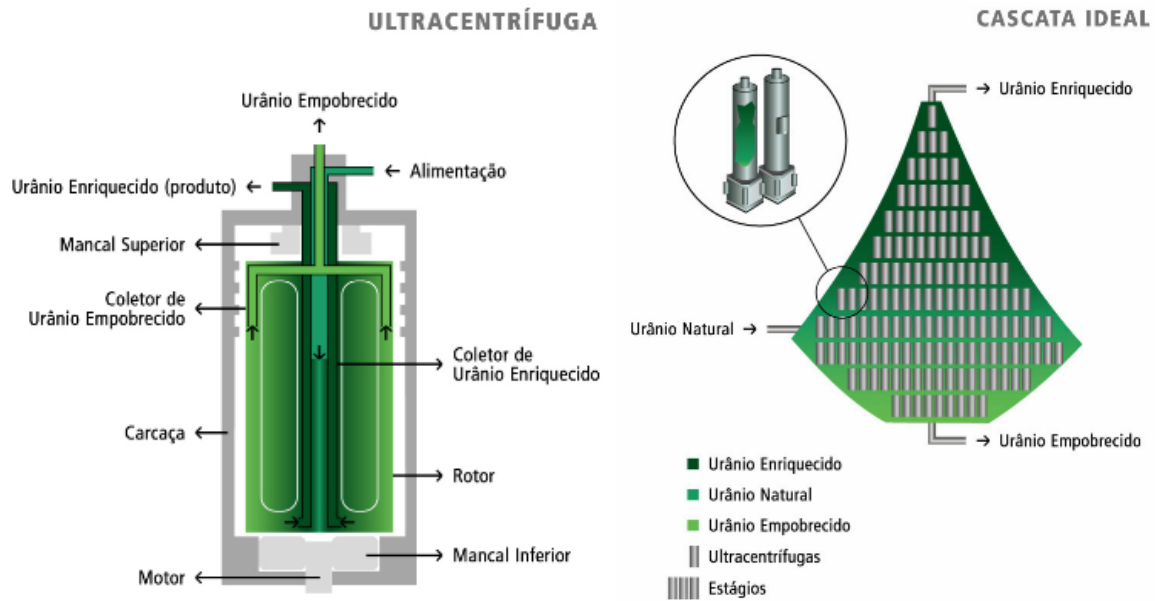


Figura 5 Esquema de uma ultracentrífuga. Cortesia da INB- Industrias Nucleares do Brasil (<http://www.inb.gov.br/pt-br/WebForms/default.aspx>)

Na figura 6, mostramos uma vareta de elemento combustível, e na figura 7, o elemento combustível completo, que é constituído por 236 varetas. No núcleo do reator existem 193 elementos combustíveis.



Figura 6 - Vareta de elemento combustível. Cortesia da Eletronuclear (<http://www.eletronuclear.gov.br>)

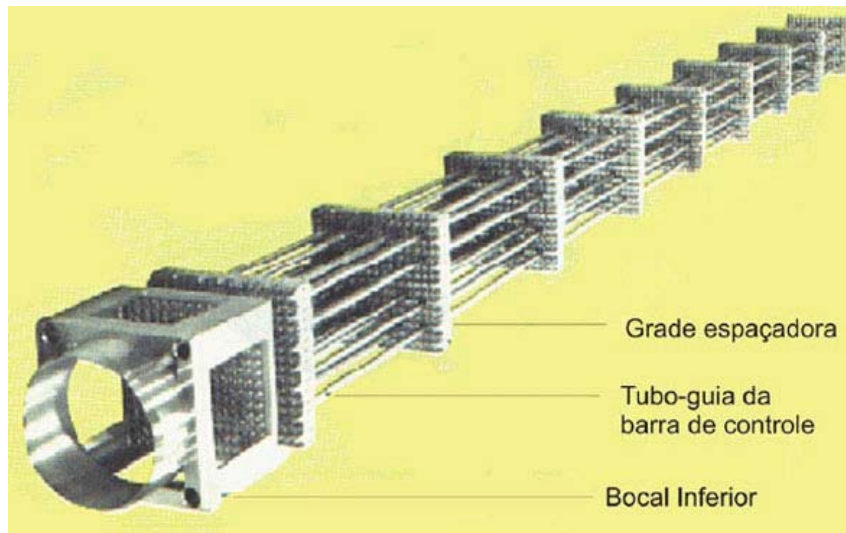


Figura 7 - Elemento combustível – Cortesia da Eletronuclear (<http://www.eletronuclear.gov.br>)

6 - Os reatores nucleares e as centrais nucleares para geração de energia elétrica

Os reatores nucleares de fissão são sistemas projetados para que se tenha uma reação em cadeia, mas de forma CONTROLADA. Como podemos controlar a reação? Como os nêutrons gerados no processo de fissão são os responsáveis por provocar novas fissões, um modo eficiente para controlar o processo, é inserir um material que absorva nêutrons, de modo que não haja uma multiplicação indefinida das fissões.

Nos reatores há um grupo de “barras de controle”, feitas com um material absorvedor de nêutrons, que permitem efetuar o controle do reator.

Em dois de dezembro de 1942, na Universidade de Chicago, entrou em operação o primeiro reator nuclear, com uma reação em cadeia **autossustentável**, um projeto liderado pelo cientista **Enrico Fermi** com a colaboração do cientista **Leó Szilárd**, uma parte do famoso *Projeto Manhattan*, que visava ao desenvolvimento da bomba atômica.

Há diversos tipos de reatores nucleares. Alguns são especificamente projetados para pesquisas, como é o caso do Reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear, situado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Outros são projetados para produzir isótopos utilizados em aplicações na Indústria e na Medicina. E há os reatores de grande porte, projetados para a produção de energia elétrica.

Em 20 de dezembro de 1951, no “INL - Idaho National Laboratory”, em Idaho Falls, nos Estados Unidos, foi evidenciada a possibilidade real de se gerar energia elétrica utilizando a energia nuclear; de fato, nesta data o reator nuclear EBR-1 (Experimental Breeder Reactor) entrou em operação, e o gerador elétrico ligado ao sistema, produziu a energia suficiente para alimentar “quatro lâmpadas elétricas de 200 watts cada uma”. A quantidade de energia era pequena, mais mostrava a viabilidade de gerar energia elétrica utilizando um reator nuclear. Os leitores interessados podem assistir a um vídeo sobre esse reator no próprio site do INL (<http://www.inl.gov/eb1/>).

Em junho de 1954 entrou em operação a central nuclear de Obninsk, na Rússia, gerando algo em torno de 5 Megawatts elétricos (5 MWe).

Em agosto de 1956, a primeira central nuclear da Inglaterra, a de Calder Hall, foi conectada à rede de energia elétrica, gerando 60 MWe. Essa central foi fechada em 2003, após 47 anos de operação.

Nos Estados Unidos, a primeira central nuclear comercial foi a de Shippingport, na Pensilvânia, que começou a operar em dezembro de 1957.

Em janeiro de 1985, a central nuclear de Angra I, a primeira construída no Brasil entrou em operação comercial, gerando uma potência de 657 MWe; em 2000 entrou em operação a central nuclear de Angra II, com uma potência de 1350 MWe; no momento Angra III está em construção.

No início do ano de 2012, 436 centrais nucleares estão em operação em 31 países, e 63 estão em construção em quinze países, mostrando que apesar de todos os “receios”, a energia nuclear é uma fonte importante de energia.

Vamos descrever sucintamente como funciona uma central nuclear como as de Angra. Detalhes mais técnicos poderão ser obtidos nos demais artigos disponíveis no site.

Na figura 8 apresentamos um diagrama esquemático de uma central tipo Angra 3. O reator nuclear (1) contém os elementos combustíveis, que são constituídos por varetas de Zircaloy (liga especial de Zircônio e Estanho), onde estão empilhadas as pastilhas de urânio enriquecido. A bomba de refrigeração do reator (3) retira o calor gerado pela fissão do urânio, que aquece a água, e essa água aquecida é levada ao gerador de vapor (2), onde será gerado o vapor que acionará as turbinas (4). As turbinas a vapor acionam o gerador, que fornece a energia elétrica à torre de transmissão.

Observa-se que o chamado circuito primário está envolvido por uma esfera de aço de 3 cm de espessura e 56 m de diâmetro, a chamada de esfera de contenção, e tudo isto está dentro de uma estrutura de concreto com 60,4 m de diâmetro e 60 cm de espessura.

O sistema é projetado de modo que a água do circuito primário, que circula no reator, fique toda contida dentro da esfera de contenção. Na realidade, dentro dessa esfera estão também contidos a piscina dos elementos combustíveis usados e o depósito dos elementos combustíveis novos, bem como a blindagem biológica que circunda o vaso de pressão do reator.

A água do mar é bombeada (10) para resfriar os condensadores de vapor (7), e a água condensada é então pré-aquecida(9) e bombeada (8) de volta ao gerador de vapor.

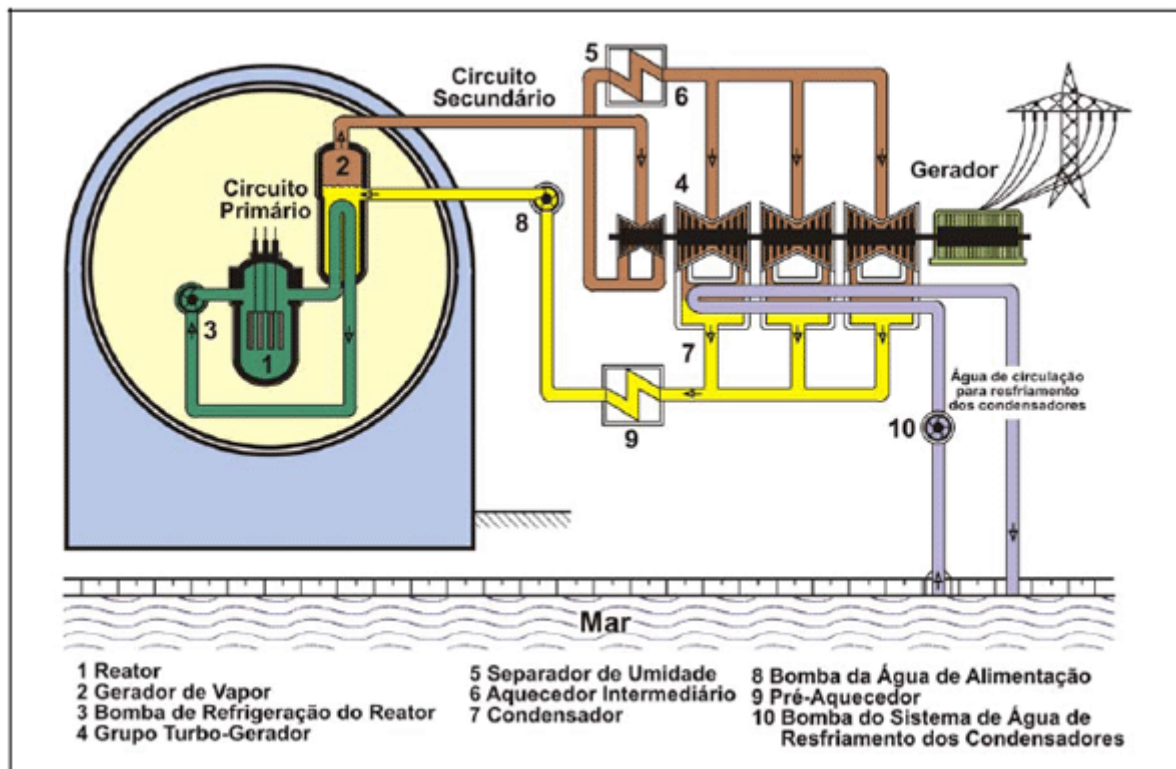


Figura 8 Esquema de uma usina tipo Angra III
Cortesia da Eletronuclear (<http://www.eletronuclear.gov.br>)

7 - A fusão nuclear

Apenas para complementar o panorama, são apresentados alguns comentários sobre a fusão, quando dois núcleos mais leves se fundem para formar um núcleo mais pesado. Por exemplo, no sol, a estrela central do nosso sistema solar, o elemento Hidrogênio está continuamente sendo transformado no elemento Hélio, o que origina a energia liberada, que é responsável pela vida no nosso planeta. Após todo o hidrogênio ser “queimado”, começa a fusão do próprio Hélio, e o sol começa a se expandir,

transformando-se em uma estrela gigante vermelha e finalmente encerrando a sua “performance” no universo, se transformado em uma estrela anã branca.

A chamada bomba de hidrogênio usa o processo de fusão, e produz uma energia bem maior que a bomba de fissão.

Atualmente os cientistas empregam todos os esforços para desenvolver um reator nuclear de fusão, mas face aos grandes problemas técnicos envolvidos, ainda há um longo caminho a ser percorrido.

Em 2007 foi iniciada, no Sul da França, dentro de um programa internacional, a construção de um reator experimental de fusão, chamado de ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor).

AGRADECIMENTOS

Aos amigos, José de Anchieta Wanderley da Nóbrega e Luiz Osório de Brito Aghina, ex-companheiros do Instituto de Engenharia Nuclear, pela revisão e importantes sugestões apresentadas.

Às empresas e órgãos do governo que atuam na área nuclear e que autorizaram a reprodução de material disponível nos seus “sites”:

INB -Indústrias Nucleares do Brasil (<http://www.inb.gov.br>)

Eletronuclear (<http://www.eletronuclear.gov.br/>)

EPE-Empresa de Pesquisa Energética <http://www.epe.gov.br>)

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear (<http://www.cnem.gov.br/>)

**AGORA QUE VOCÊ POSSUI OS CONHECIMENTOS
BÁSICOS, NÃO DEIXE DE LER OS DEMAIS ARTIGOS
DISPONÍVEIS NO “SITE”.**