

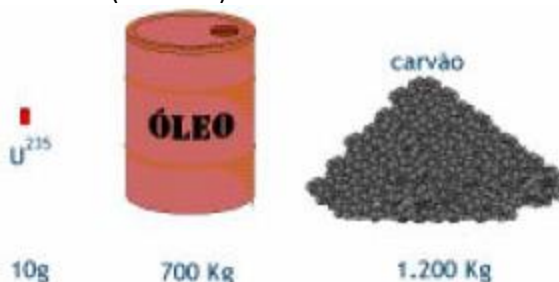
## Tema Enem: Energia Nuclear



**Energia nuclear** consiste no uso controlado das reações nucleares para a obtenção de energia para realizar movimento, calor e geração de eletricidade.

A **fissão nuclear** do urânio é a principal aplicação civil da energia nuclear.

A grande vantagem de uma Central Térmica Nuclear é a enorme quantidade de energia que pode ser gerada, ou seja, a potência gerada, para pouco material usado (o urânio).





# ENERGIA NUCLEAR

O reator nuclear é um sistema onde a reação de fissão em cadeia é mantida sob controle e a energia liberada na fissão é usada como fonte de calor para ferver água, cujo vapor aciona uma turbina geradora, que produz eletricidade como numa usina termoeleétrica convencional.

Fissão nuclear é a partição de um núcleo atômico pesado e instável provocada por um bombardeamento de nêutrons moderados, originando 2 núcleos atômicos médios, liberação de 2 ou 3 nêutrons e uma quantidade muito grande de energia.

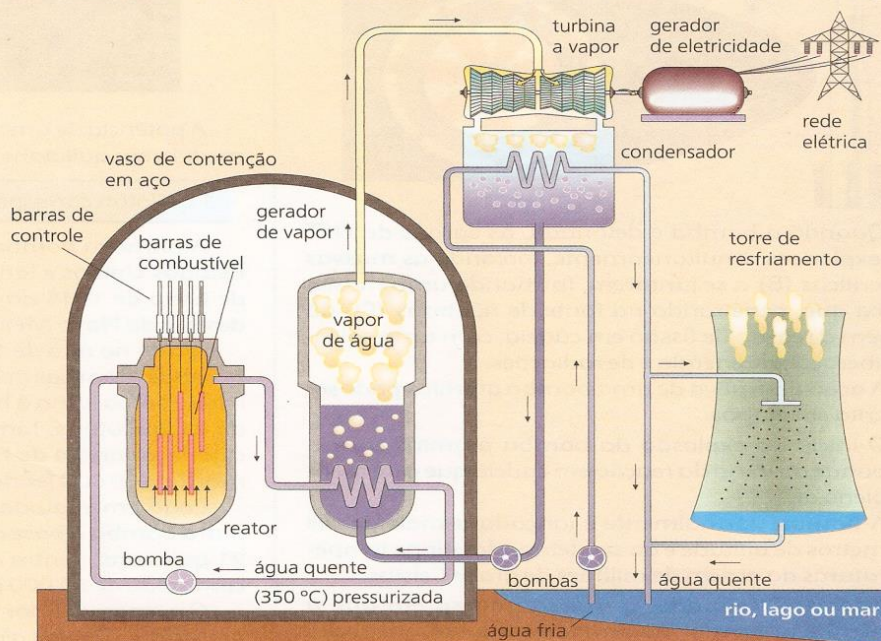
O reator é montado de maneira a intercalar barras de combustível fissil (urânio 235 ou plutônio 239, metálicos) com barras de moderador de nêutrons, denominadas barras de controle, cuja função é diminuir a velocidade dos nêutrons liberados nas fissões do urânio ou do plutônio, possibilitando o prosseguimento da reação em cadeia.

Movimentando-se as barras de controle, para baixo ou para cima, é possível controlar a quantidade de energia liberada nas barras de combustível. O calor gerado eleva a temperatura da água no interior do reator.

Uma bomba circula a água quente para um gerador de vapor de água, e o vapor aciona uma turbina, que opera um gerador elétrico. O vapor da turbina entra no condensador, onde passa para a fase líquida na serpentina de refrigeração (condensador). A água utilizada na refrigeração do condensador provém de um rio, mar ou lago situado nas vizinhanças do reator. Essa água quente despejada novamente no lago, rio ou mar, após ser utilizada para refrigeração da usina prejudica a fauna e a flora locais, pois, além de diminuir a quantidade de oxigênio dissolvido nessas águas, modifica o metabolismo dos peixes, que acabam morrendo. Observe o esquema a seguir:

Há 433 usinas nucleares em operação e 73 em construção em 32 países. A tabela a seguir fornece a participação da energia nuclear na produção de energia elétrica em alguns países ao redor do mundo.

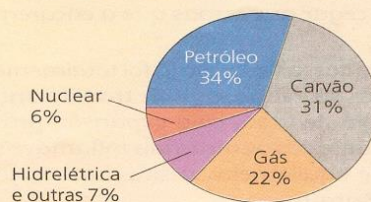
País	%
Lituânia	85,0
França	78,2
Bélgica	60,0
Suécia	46,1
Ucrânia	44,9
Coréia do Sul	35,0
Alemanha	35,0
Inglaterra	28,6
Estados Unidos	19,8
Rússia	13,2
Argentina	11,4
Brasil	1,0



Em alguns reatores, há também um refletor de nêutrons, geralmente feito de grafita, com uns 30 cm de espessura, cuja finalidade é refletir para dentro do reator 93% dos nêutrons que batem em sua superfície. Também são necessários certos mecanismos complexos para separar os produtos da fissão.

Muitos desses produtos, como o isótopo 135 do xenônio,  $^{135}_{54}\text{Xe}$ , absorvendo os nêutrons, chegariam a impedir a reação em cadeia.

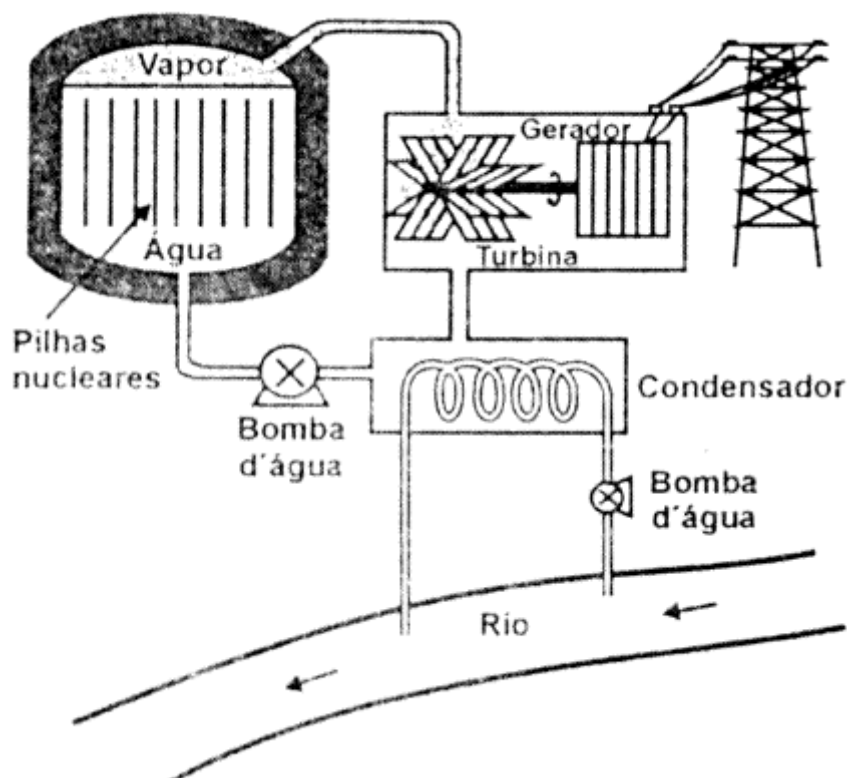
De onde vem a energia elétrica na Terra:



Fonte: Aeapris/Le Point, dados de 1997.

## EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

**01 (ENEM-2000)** A energia térmica liberada em processos de fissão nuclear pode ser utilizada na geração de vapor para produzir energia mecânica que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. Abaixo está representado um esquema básico de uma usina de energia nuclear.



Com relação ao impacto ambiental causado pela poluição térmica no processo de refrigeração da usina nuclear, são feitas as seguintes afirmações:

- I. o aumento na temperatura reduz, na água do rio, a quantidade de oxigênio nela dissolvido, que é essencial para a vida aquática e para a decomposição da matéria orgânica.
- II. o aumento da temperatura da água modifica o metabolismo dos peixes.
- III. o aumento na temperatura da água diminui o crescimento de bactérias e de algas, favorecendo o desenvolvimento da vegetação.

Das afirmativas acima, somente está(ão) correta(s):

- a) I.            b) II.            c) III.            d) I e II.            e) II e III.

**02 (ENEM-2001)** Considere os seguintes acontecimentos ocorridos no Brasil:

— Goiás, 1987 — Um equipamento contendo césio radioativo, utilizado em medicina nuclear, foi encontrado em um depósito de sucatas e aberto por pessoa que desconhecia o seu conteúdo. Resultado: mortes e conseqüências ambientais sentidas até hoje.

— Distrito Federal, 1999 — Cilindros contendo cloro, gás bactericida utilizado em tratamento de água, encontrados em um depósito de sucatas, foram abertos por pessoa que desconhecia o seu conteúdo. Resultado: mortes, intoxicações e conseqüências ambientais sentidas por várias horas.

Para evitar que novos acontecimentos dessa natureza venham a ocorrer, foram feitas as seguintes propostas para a atuação do Estado:

- I. Proibir o uso de materiais radioativos e gases tóxicos.
- II. Controlar rigorosamente a compra, uso e destino de materiais radioativos e de recipientes contendo gases tóxicos.
- III. Instruir usuários sobre a utilização e descarte destes materiais.
- IV. Realizar campanhas de esclarecimentos à população sobre os riscos da radiação e da toxicidade de determinadas substâncias.

Dessas propostas, são adequadas apenas

- a) I e II.            b) I e III.            c) II e III.            d) I, III e IV.            e) II, III e IV.

**03 (ENEM-2003)** Na música "Bye, bye, Brasil", de Chico Buarque de Holanda e Roberto Menescal, os versos  
"puseram uma usina no mar  
talvez fique ruim pra pescar"

poderiam estar se referindo à usina nuclear de Angra dos Reis, no litoral do Estado do Rio de Janeiro.

No caso de tratar-se dessa usina, em funcionamento normal, dificuldades para a pesca nas proximidades poderiam ser causadas

- a) pelo aquecimento das águas, utilizadas para refrigeração da usina, que alteraria a fauna marinha.
- b) pela oxidação de equipamentos pesados e por detonações que espantariam os peixes.
- c) pelos rejeitos radioativos lançados continuamente no mar, que provocariam a morte dos peixes.
- d) pela contaminação por metais pesados dos processos de enriquecimento do urânio.
- e) pelo vazamento de lixo atômico colocado em tonéis e lançado ao mar nas vizinhanças da usina.

**04 (ENEM-2004)** O debate em torno do uso da energia nuclear para produção de eletricidade permanece atual. Em um encontro internacional para a discussão desse tema, foram colocados os seguintes argumentos:

I. Uma grande vantagem das usinas nucleares é o fato de não contribuírem para o aumento do efeito estufa, uma vez que o urânio, utilizado como "combustível", não é queimado mas sofre fissão.

II. Ainda que sejam raros os acidentes com usinas nucleares, seus efeitos podem ser tão graves que essa alternativa de geração de eletricidade não nos permite ficar tranquilos.

A respeito desses argumentos, pode-se afirmar que

- a) o primeiro é válido e o segundo não é, já que nunca ocorreram acidentes com usinas nucleares.
- b) o segundo é válido e o primeiro não é, pois de fato há queima de combustível na geração nuclear de eletricidade.
- c) o segundo é válido e o primeiro é irrelevante, pois nenhuma forma de gerar eletricidade produz gases do efeito estufa.
- d) ambos são válidos para se compararem vantagens e riscos na opção por essa forma de geração de energia.
- e) ambos são irrelevantes, pois a opção pela energia nuclear está se tornando uma necessidade inquestionável.

**05 (ENEM-2005)** Um problema ainda não resolvido da geração nuclear de eletricidade é a destinação dos rejeitos radiativos, o chamado "lixo atômico". Os rejeitos mais ativos ficam por um período em piscinas de aço inoxidável nas próprias usinas antes de ser, como os demais rejeitos, acondicionados em tambores que são dispostos em áreas cercadas ou encerrados em depósitos subterrâneos secos, como antigas minas de sal. A complexidade do problema do lixo atômico, comparativamente a outros lixos com substâncias tóxicas, se deve ao fato de

- a) emitir radiações nocivas, por milhares de anos, em um processo que não tem como ser interrompido artificialmente.
- b) acumular-se em quantidades bem maiores do que o lixo industrial convencional, faltando assim locais para reunir tanto material.
- c) ser constituído de materiais orgânicos que podem contaminar muitas espécies vivas, incluindo os próprios seres humanos.
- d) exalar continuamente gases venenosos, que tornariam o ar irrespirável por milhares de anos.
- e) emitir radiações e gases que podem destruir a camada de ozônio e agravar o efeito estufa.

**06 (ENEM-2006)** Para se obter 1,5kg do dióxido de urânio puro, matéria-prima para a produção de combustível nuclear, necessário extrair-se e tratar-se 1,0 tonelada de minério. Assim, o rendimento (dado em % em massa) do tratamento do minério até chegar ao dióxido de urânio puro é de

- a) 0,10%.
- b) 0,15%.
- c) 0,20%.
- d) 1,5%.
- e) 2,0%.

**07 (ENEM-2006)** O funcionamento de uma usina nucleoeleétrica típica baseia-se na liberação de energia resultante da divisão do núcleo de urânio em núcleos de menor massa, processo conhecido como fissão nuclear. Nesse processo, utiliza-se uma mistura de diferentes átomos de urânio, de forma a proporcionar uma concentração de apenas 4% de material físsil. Em bombas atômicas, são utilizadas concentrações acima de 20% de urânio físsil, cuja obtenção é trabalhosa, pois, na natureza, predomina o urânio não-físsil. Em grande parte do armamento nuclear hoje existente, utiliza-se, então, como alternativa, o plutônio, material físsil produzido por reações nucleares no interior do reator das usinas nucleoeleétricas. Considerando-se essas informações, é correto afirmar que

- a) a disponibilidade do urânio na natureza está ameaçada devido à sua utilização em armas nucleares.
- b) a proibição de se instalarem novas usinas nucleoeleétricas não causará impacto na oferta mundial de energia.
- c) a existência de usinas nucleoeleétricas possibilita que um de seus subprodutos seja utilizado como material bélico.
- d) a obtenção de grandes concentrações de urânio físsil é viabilizada em usinas nucleoeleétricas.
- e) a baixa concentração de urânio físsil em usinas nucleoeleétricas impossibilita o desenvolvimento energético.

**08 (ENEM-2007)** Um poeta habitante da cidade de Poços de Caldas-MG assim externou o que estava acontecendo em sua cidade:

Hoje, o planalto de Poços de Caldas não serve mais. Minério acabou. Só mancha, “nunclemais”. Mas estão “tapando os buracos”, trazendo para cá “Torta II”<sup>1</sup>, aquele lixo do vizinho que você não gostaria de ver jogado no quintal da sua casa. Sentimentos mil: do povo, do poeta e do Brasil.

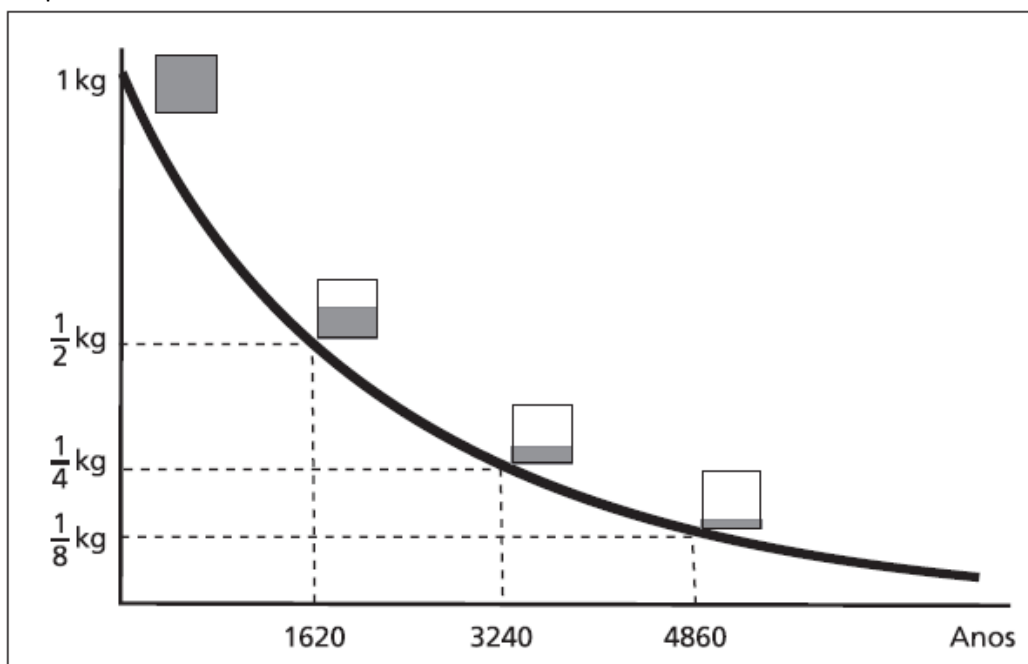
Hugo Pontes. In: M.E.M. Helene. *A radioatividade e o lixo nuclear*. São Paulo: Scipione, 2002, p. 4.  
1Torta II — lixo radioativo de aspecto pastoso.

A indignação que o poeta expressa no verso “Sentimentos mil: do povo, do poeta e do Brasil” está relacionada com

- a) a extinção do minério decorrente das medidas adotadas pela metrópole portuguesa para explorar as riquezas minerais, especialmente em Minas Gerais.
- b) a decisão tomada pelo governo brasileiro de receber o lixo tóxico oriundo de países do Cone Sul, o que caracteriza o chamado comércio internacional do lixo.
- c) a atitude de moradores que residem em casas próximas umas das outras, quando um deles joga lixo no quintal do vizinho.
- d) as chamadas operações tapa-buracos, desencadeadas com o objetivo de resolver problemas de manutenção das estradas que ligam as cidades mineiras.
- e) os problemas ambientais que podem ser causados quando se escolhe um local para enterrar ou depositar lixo tóxico.

**09 (ENEM-2009)** O lixo radioativo ou nuclear é resultado da manipulação de materiais radioativos, utilizados hoje na agricultura, na indústria, na medicina, em pesquisas científicas, na produção de energia etc. Embora a radioatividade se reduza com o tempo, o processo de decaimento radioativo de alguns materiais pode levar milhões de anos.

Por isso, existe a necessidade de se fazer um descarte adequado e controlado de resíduos dessa natureza. A taxa de decaimento radioativo é medida em termos de um tempo característico, chamado meia-vida, que é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O gráfico seguinte representa a taxa de decaimento radioativo do rádio-226, elemento químico pertencente à família dos metais alcalinos terrosos e que foi utilizado durante muito tempo na medicina.



As informações fornecidas mostram que

- a) quanto maior é a meia-vida de uma substância mais rápido ela se desintegra.
- b) apenas 1/8 de uma amostra de rádio-226 terá decaído ao final de 4.860 anos.
- c) metade da quantidade original de rádio-226, ao final de 3.240 anos, ainda estará por decair.
- d) restará menos de 1% de rádio-226 em qualquer amostra dessa substância após decorridas 3 meias-vidas.
- e) a amostra de rádio-226 diminui a sua quantidade pela metade a cada intervalo de 1.620 anos devido à desintegração radioativa.

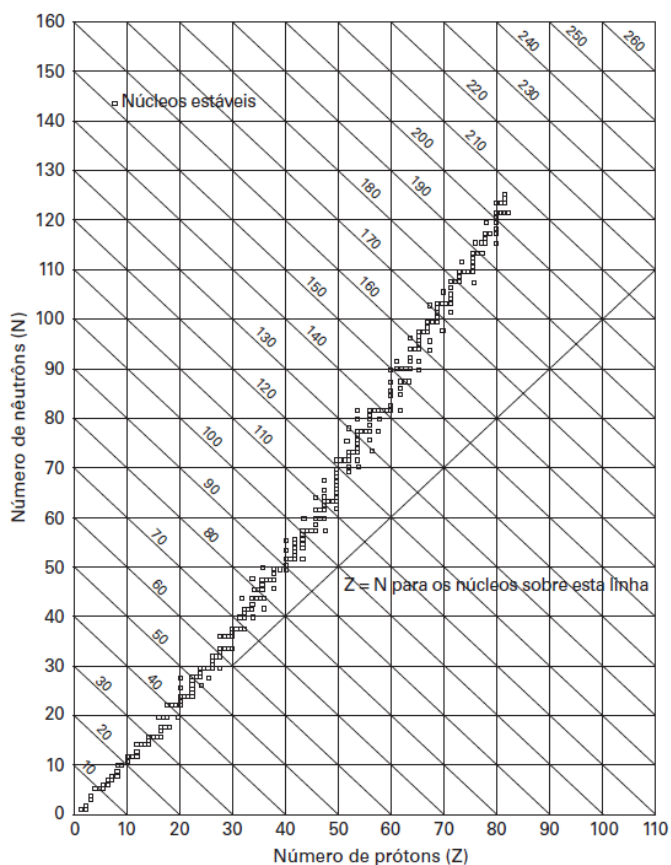
**10 (ENEM-2009)** A energia geotérmica tem sua origem no núcleo derretido da Terra, onde as temperaturas atingem 4.000 °C. Essa energia é primeiramente produzida pela decomposição de materiais radiativos dentro do planeta. Em fontes geotérmicas, a água, aprisionada em um reservatório subterrâneo, é aquecida pelas rochas ao redor e fica submetida a altas pressões, podendo atingir temperaturas de até 370 °C sem entrar em ebulição. Ao ser liberada na superfície, à pressão ambiente, ela se vaporiza e se resfria, formando fontes ou gêiseres. O vapor de poços geotérmicos é separado da água e é utilizado no funcionamento de turbinas para gerar eletricidade. A água quente pode ser utilizada para aquecimento direto ou em usinas de dessalinização.

HINRICHS, Roger A. *Energia e Meio Ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado).

Sob o aspecto da conversão de energia, as usinas geotérmicas

- funcionam com base na conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica.
- transformam inicialmente a energia solar em energia cinética e, depois, em energia térmica.
- podem aproveitar a energia química transformada em térmica no processo de dessalinização.
- assemelham-se às usinas nucleares no que diz respeito à conversão de energia térmica em cinética e, depois, em elétrica.
- utilizam a mesma fonte primária de energia que as usinas nucleares, sendo, portanto, semelhantes os riscos decorrentes de ambas.

**11 (ENEM-2009)** Os núcleos dos átomos são constituídos de prótons e nêutrons, sendo ambos os principais responsáveis pela sua massa. Nota-se que, na maioria dos núcleos, essas partículas não estão presentes na mesma proporção. O gráfico mostra a quantidade de nêutrons (N) em função da quantidade de prótons (Z) para os núcleos estáveis conhecidos.



KAPLAN, I. *Física Nuclear*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 1978 (adaptado).

O antimônio é um elemento químico que possui 50 prótons e possui vários isótopos — átomos que só se diferem pelo número de nêutrons. De acordo com o gráfico, os isótopos estáveis do antimônio possuem

- entre 12 e 24 nêutrons a menos que o número de prótons.
- exatamente o mesmo número de prótons e nêutrons.
- entre 0 e 12 nêutrons a mais que o número de prótons.
- entre 12 e 24 nêutrons a mais que o número de prótons.
- entre 0 e 12 nêutrons a menos que o número de prótons.

**12 (ENEM-2011)** O acidente nuclear de Chernobyl revela brutalmente os limites dos poderes técnico-científicos da humanidade e as "marchas-à-ré" que a "natureza" nos pode reservar. É evidente que uma gestão mais coletiva se impõe para orientar as ciências e as técnicas em direção a finalidades mais humanas.

*GUATTARI, F. As três ecologias. São Paulo: Papirus, 1995 (adaptado).*

O texto trata do aparato técnico-científico e suas consequências para a humanidade, propondo que esse desenvolvimento

- defina seus projetos a partir dos interesses coletivos.
- guie-se por interesses econômicos, prescritos pela lógica do mercado.
- priorize a evolução da tecnologia, se apropriando da natureza.
- promova a separação entre natureza e sociedade tecnológica.
- tenha gestão própria, com o objetivo de melhor apropriação da natureza.

**13 (ENEM-2013)** A falta de conhecimento em relação ao que vem a ser um material radioativo e quais os efeitos, consequências e usos da irradiação pode gerar o medo e a tomada de decisões equivocadas, como a apresentada no exemplo a seguir.

"Uma companhia aérea negou-se a transportar material médico por este portar um certificado de esterilização por irradiação."

*Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007 (adaptado).*

A decisão tomada pela companhia é equivocada, pois

- o material é incapaz de acumular radiação, não se tornando radioativo por ter sido irradiado.
- a utilização de uma embalagem é suficiente para bloquear a radiação emitida pelo material.
- a contaminação radioativa do material não se prolifera da mesma forma que as infecções por microrganismos.
- o material irradiado emite radiação de intensidade abaixo daquela que ofereceria risco à saúde.
- o intervalo de tempo após a esterilização é suficiente para que o material não emita mais radiação.

**14** Uma das etapas da produção de energia elétrica, tanto numa usina nuclear como numa termoelétrica, consiste na transformação de água líquida em vapor, que, passando por uma turbina, gera eletricidade.

Num reator nuclear, a energia necessária à transformação de água líquida em vapor é fornecida pela fissão do  $^{235}\text{U}$  ou do  $^{239}\text{Pu}$ . São utilizadas quantidades enormes de água para resfriar o reator. Essa água é proveniente dos mares, rios e lagos e, depois de circular pelo reator, volta para as fontes de origem.

Já no caso da usina termoelétrica, a energia necessária à transformação da água líquida em vapor é fornecida pela queima de combustíveis fósseis (carvão e óleo diesel).

Considere os seguintes problemas ambientais:

I — Chuva ácida

II — Mortandade de peixes

III — Destruição da camada de ozônio

Qual ou quais deles são agravados pelas usinas nuclear e termoelétrica?

	Usina nuclear	Usina termoelétrica
A)	I, II e III	I, II e III
B)	I e III, somente	II e III, somente
C)	II e III, somente	I e III, somente
D)	II, somente	I, somente
E)	I, somente	II, somente

15 Na tabela a seguir, a primeira coluna mostra alguns danos possíveis ao meio ambiente e/ou à saúde pública causados pela instalação de usinas de energia elétrica ou pelos seus modos de produção; a segunda coluna relaciona os processos de transformação de energia envolvidos na obtenção de energia elétrica pelas usinas.

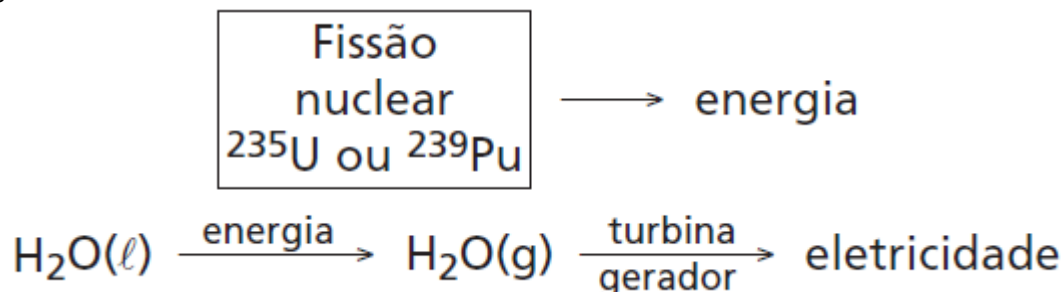
Danos ao meio ambiente e/ou saúde pública	Transformações de energia
I. O alagamento de grandes regiões, com conseqüente modificação da fauna e da flora. A possibilidade de emissão de gás metano, pela decomposição orgânica gerada pelos alagamentos.	a) Transformação da energia obtida da queima de petróleo em movimento nas turbinas dos geradores, para produção de energia elétrica.
II. A produção de CO <sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis, agravando o efeito estufa e o aquecimento global. Enfermidades pulmonares, cardiovasculares e renais nas populações residentes nas imediações, expostas aos óxidos de nitrogênio e enxofre resultantes da queima daqueles combustíveis.	b) Transformação da energia térmica resultante de fissão nuclear em energia cinética nas turbinas dos geradores, para produção de energia elétrica.
III. Questões vitais de segurança e tratamento de resíduos, além de prejuízos à biodiversidade local, devido ao aumento da temperatura dos cursos d'água empregados na refrigeração.	c) Transformação da energia potencial gravitacional em cinética nas turbinas dos geradores, para produção de energia elétrica.

Assinale a alternativa que associa corretamente o tipo da usina de geração de energia elétrica com as colunas da tabela.

- a) Usina hidrelétrica: I e C  
 Usina termelétrica: II e A  
 Usina termonuclear: III e B
- b) Usina hidrelétrica: II e B  
 Usina termelétrica: I e A  
 Usina termonuclear: III e C
- c) Usina hidrelétrica: I e B  
 Usina termelétrica: II e C  
 Usina termonuclear: III e A
- d) Usina hidrelétrica: III e C  
 Usina termelétrica: I e A  
 Usina termonuclear: II e B
- e) Usina hidrelétrica: I e C  
 Usina termelétrica: III e B  
 Usina termonuclear: II e A

16 Alguns anos após o término da Segunda Guerra Mundial, nos Estados Unidos começaram a ser construídas as primeiras usinas nucleares para a produção de energia elétrica. Atualmente existem cerca de 560 dessas usinas no mundo, sendo 128 naquele país.

Numa usina nuclear de produção de energia elétrica, um reator nuclear permite a fissão nuclear controlada do <sup>235</sup>U ou <sup>239</sup>Pu (combustíveis do reator), e a energia liberada nessa fissão é utilizada para ferver a água cujo vapor, passando por uma turbina, gerará eletricidade.



Nas usinas termoelétricas, a energia necessária à transformação da água líquida em vapor de água é fornecida pela queima de combustíveis fósseis (carvão e derivados do petróleo).

As usinas nucleares utilizam enormes quantidades de água no resfriamento do reator nuclear. A água necessária ao resfriamento provém diretamente dos mares e rios, para onde volta depois de circular no interior do reator nuclear, porém aquecida.



Com isso, há uma elevação da temperatura da água dos mares e rios, provocando a mortandade dos peixes e de outros seres aquáticos. Essa é a chamada poluição térmica.

Com base nesses dados, analise as afirmações seguintes:

- I. A mortandade de peixes e outros seres aquáticos citada no texto é devida à diminuição da quantidade de oxigênio ( $O_2$ ) dissolvido na água, provocada pela elevação da temperatura.
- II. A substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis nucleares ( $^{235}U$  ou  $^{239}Pu$ ) minimiza o problema ambiental causado pelas chuvas ácidas.
- III. No reator nuclear, os núcleos dos átomos de  $^{235}U$  e de  $^{239}Pu$  são fragmentados, dando núcleos menores.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmação(ões):

- a) I, II e III.
- b) I e II, somente.
- c) II e III, somente.
- d) I e III, somente.
- e) I, somente.

As questões **17** e **18** se referem ao texto a seguir.

A usina nuclear faz uso da energia liberada na fissão dos átomos de urânio para aquecer água.

Nesse tipo de usina, há três circuitos de águas independentes, sem que haja contato entre elas. O ciclo de funcionamento consiste em três etapas.

Na primeira, a energia térmica liberada na fissão dos átomos de urânio aquece a água contida no circuito primário, até que sua temperatura atinja, aproximadamente,  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . Para que permaneça no estado líquido, essa água fica submetida à pressão de 150 atmosferas. Uma vez aquecida, ela transfere calor para a água do circuito secundário.

Na segunda etapa, a água do circuito secundário se transforma em vapor que irá movimentar as pás de uma turbina cujo eixo está acoplado a um gerador elétrico, resultando, então, em energia elétrica.

Na etapa final, do lado externo do circuito secundário, circula água fria, usada como um sistema refrigerante, que condensa o vapor formado no circuito secundário. A seguir, a água condensada é bombeada de volta para o gerador de vapor, para um novo ciclo.

A água usada como sistema de refrigeração é, enfim, liberada para o meio ambiente.

**17** Com base no texto anterior, assinale a opção correta.

- a) Em operação normal, na usina nuclear, água com resíduos radioativos é despejada no meio ambiente.
- b) No circuito primário, ocorre uma mudança no estado físico da água.
- c) No circuito secundário, a água inicia e termina seu ciclo em estado líquido.
- d) Em todos os circuitos há água com resíduos radioativos.
- e) A água de refrigeração pode ser despejada de volta nos mares ou rios, sem riscos para o meio ambiente, uma vez que não contém resíduos radioativos.

**18** Ainda com base no texto, assinale a opção correta.

- a) Uma parcela da energia térmica recebida pela água no circuito secundário é transformada em energia mecânica.
- b) A rigor, durante a operação de uma usina nuclear não ocorre transformação de energia.
- c) O princípio de conservação de energia não se aplica a uma usina nuclear.
- d) A única energia envolvida na geração de energia elétrica na usina nuclear é a energia térmica.
- e) Para que a usina nuclear funcione corretamente, é necessário que a água do sistema de refrigeração absorva toda a energia que a água do circuito secundário recebeu.

19 Em reatores nucleares como a usina de Angra II (localizada em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro), a energia é proveniente da fissão do urânio-235. Quando um átomo de urânio-235 sofre uma reação chamada fissão nuclear, seu núcleo divide-se em outros núcleos mais leves e parte da massa é convertida em energia, obedecendo a uma famosa relação proposta por Albert Einstein em sua teoria da relatividade restrita: a equivalência massa-energia ( $E = m \cdot c^2$ , em que “m” é a massa aniquilada, “E” é a energia que surge em seu lugar e “c” é a velocidade da luz no vácuo e vale  $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$ ).

Supondo-se que, na usina de Angra, cerca de 4 gramas de massa sejam aniquilados a cada dia, a energia que surge em seu lugar é igual a:

- A)  $3,6 \cdot 10^{17} \text{J}$
- B)  $3,6 \cdot 10^{16} \text{J}$
- C)  $3,6 \cdot 10^{15} \text{J}$
- D)  $3,6 \cdot 10^{14} \text{J}$
- E)  $3,6 \cdot 10^{13} \text{J}$

20 A instalação de usinas nucleares em qualquer lugar do mundo é sempre um assunto polêmico, pois, enquanto alguns analistas as consideram uma solução para a questão da produção da energia elétrica de vários países, outros acreditam que, pelos problemas que provocam ou poderão provocar no futuro, elas deveriam ser desativadas em todo o mundo. Leia os textos abaixo, que destacam vantagens e desvantagens desse tipo de usina.

I. A Agência de Energia Nuclear, com sede em Paris, insiste que, para tornar o mundo mais livre dos chamados gases de efeito estufa (principalmente o gás carbônico, ou  $\text{CO}_2$ , que segundo pesquisas leva à elevação da temperatura média do planeta), este tipo de energia precisa corresponder a entre 20% e 25% do total da energia gerada no mundo. Atualmente, este número é de 6%.

(Fonte: [http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/story/2004/06/040603\\_climamtc.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/story/2004/06/040603_climamtc.shtml). Acesso em 4/4/08.)

II. Angra III é fundamental para suprir de energia o Sudeste, já que os futuros aproveitamentos hidrelétricos estão distantes da região e, possivelmente, o gás na Bacia de Santos não estará disponível em grande escala — para abastecimento de termelétricas — antes de 2010.

(Fonte: <http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/79357.htm>. Acesso em 4/4/08.)

III. A utilização desse tipo de tecnologia continua apresentando graves riscos para toda a humanidade. Reatores nucleares e instalações complementares geram grandes quantidades de lixo nuclear que precisam ficar sob vigilância por milhares de anos. Não se conhecem técnicas seguras de armazenamento do lixo nuclear gerado.

(Fonte: [http://www.greenpeace.org.br/energia/energia.php/conteudo\\_id=627&sub\\_campanha=0&img=15](http://www.greenpeace.org.br/energia/energia.php/conteudo_id=627&sub_campanha=0&img=15). Acesso em 4/4/08.)







IV. Além da segurança, outra questão não resolvida em relação à energia nuclear é sua viabilidade econômica. De acordo com os cálculos da Agência Internacional de Energia, referência mundial no tema, construir usinas nucleares é mais caro que optar por usinas hidrelétricas e termelétricas a carvão ou gás. Outro levantamento, do Departamento de Energia e Comércio, da Inglaterra, também aponta a energia nuclear como mais cara que as outras. Há ainda uma comparação feita pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos EUA: a eletricidade dos reatores é 95% mais cara que a das termelétricas a gás.

(Fonte: <http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EDG77869-6010-476,00.html>. Acesso em 4/4/08.)

Entre os argumentos favoráveis à decisão do governo de dar continuidade à construção de Angra III, destacam-se os relacionados com a questão:

- a) da viabilidade econômica, pois os custos de produção de uma usina nuclear são muito baixos.
- b) da dificuldade encontrada para um melhor aproveitamento, nas áreas de maior necessidade, da potência hidrelétrica disponível no país.
- c) da segurança, pois o risco de ocorrência de acidentes nas usinas nucleares no Brasil é inexistente.
- d) da preservação ambiental, pois essa seria a única forma de o Brasil diminuir a emissão de gás carbônico na atmosfera.
- e) da segurança, pois a questão do lixo atômico, a exemplo do que já ocorreu na maior parte dos países desenvolvidos que dispõem de usinas nucleares, deixou há muito de ser um problema.

21 Relacione as imagens de sinalizações utilizadas em laboratórios, apresentadas a seguir, com as respectivas informações referentes a elas.

- 1)  ( ) Sinaliza os locais, e seus acessos, onde se armazenam ou se manuseiam substâncias ou misturas explosivas.
- 2)  ( ) Sinaliza os locais com riscos biológicos.
- 3)  ( ) Sinaliza os locais onde são utilizadas substâncias inflamáveis.
- 4)  ( ) Sinaliza os locais com ocorrência de fontes de radiações ionizantes (raios X e gama).
- 5)  ( ) Sinaliza os locais com riscos de intoxicações por inalação, ingestão ou absorção cutânea de produtos químicos perigosos, e que podem ter consequências graves para a saúde.
- 6)  ( ) Sinaliza os locais onde se trabalha com substâncias que podem exercer uma ação destrutiva sobre os tecidos vivos, como ácidos e bases.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

- a) 1, 3, 5, 6, 4, 2.  
b) 1, 3, 5, 6, 2, 4.  
c) 2, 4, 1, 6, 3, 5.  
d) 2, 4, 1, 5, 6, 3.  
e) 6, 5, 2, 3, 4, 1.

22 Em 1987, devido a falhas nos procedimentos de segurança, ocorreu um grave acidente em Goiânia. Uma cápsula de Césio-137, que é radioativo e tem meia-vida de 30 anos, foi subtraída e violada, contaminando pessoas e o ambiente. Certa amostra de solo contaminado, colhida e analisada na época do acidente, foi recentemente reanalisada. A razão  $R$ , entre a quantidade de Césio-137, presente hoje (2006) nessa amostra, e a que existia originalmente, em 1987, é:

Obs.: A meia-vida de um elemento radioativo é o intervalo de tempo após o qual o número de átomos radioativos existentes em certa amostra fica reduzido à metade de seu valor inicial.

- a)  $R = 1$   
b)  $1 > R > 0,5$   
c)  $R = 0,5$   
d)  $0,5 > R > 0$   
e)  $R = 0$

**23** Em 1999, foi estudada a ossada do habitante considerado mais antigo do Brasil, uma mulher que a equipe responsável pela pesquisa convencionou chamar Luzia. A idade da ossada foi determinada como sendo igual a 11.500 anos. Suponha que, nesta determinação, foi empregado o método de dosagem do isótopo radioativo carbono-14, cujo tempo de meia-vida é de 5.730 anos. Pode-se afirmar que a quantidade de carbono-14 encontrada atualmente na ossada, comparada com a contida no corpo de Luzia por ocasião de sua morte, é aproximadamente igual a :

- a) 100% do valor original.
- b) 50% do valor original.
- c) 25% do valor original.
- d) 10% do valor original.
- e) 5% do valor original.

As questões de número **24** e **25** devem ser respondidas, com base no seguinte texto:

No dia 26 de abril de 1986, ocorreu o acidente com o reator nuclear de Chernobyl. A parte superior de reator foi destruída, liberando para a atmosfera grande quantidade de ar contaminado com poeira radioativa. Dentre os vários elementos radioativos lançados, destacamos: o iodo-131 (possui meia vida de oito dias), quando ingerido ou inalado pelo ser humano, deposita-se na tireóide; o céscio-137 (possui meia vida de trinta anos), quando absorvido pelo organismo, substitui o potássio, indo para os músculos. (A Radioatividade e o Lixo Nuclear, M. Elisa Marcondes Helene)

**24** Em alguns países europeus, foram distribuídos para a população comprimidos de iodo não-radioativo porque:

- a) satura a tireóide, evitando a absorção do iodo-131.
- b) inibe a ação do iodo-131
- c) reage produzindo compostos não-radiativos.
- d) o aumento da concentração de iodo-131, no organismo, provoca o bócio ou papeira.
- e) o aumento de sua concentração no sangue inibe o funcionamento da tireóide.

**25** O tempo necessário para que a quantidade de iodo-131, que contaminou uma pessoa, se reduza a 12,5% da quantidade inicial é:

- a) 8 dias.
- b) 30 anos.
- c) 16 dias.
- d) 90 anos.
- e) 24 dias .

**26** O carbono 14 existe em todos os seres vivos, na proporção de 10ppb (partes por bilhão). Quando morrem, eles deixam de incorporar átomos de carbono dos alimentos, e a quantidade de radioisótopos começa a diminuir. O gráfico seguinte ilustra como acontece o decaimento do carbono 14 em função do tempo.

Calcula-se que o linho que envolvia os pergaminhos do Livro de Isaías, descoberto em uma caverna de Israel, tenha aproximadamente 2000 anos. O teor de carbono 14 que foi encontrado nesse material deve ter sido aproximadamente igual a:

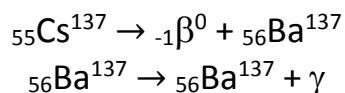
- a) 10 ppb
- b) 8 ppb
- c) 6 ppb teor de carbono 14 (ppb)
- d) 5 ppb
- e) 4 ppb

## 27 20 ANOS DO ACIDENTE RADIOATIVO DE GOIÂNIA

Em 13 de setembro de 1987, uma cápsula de césio-137, deixada numa sala do antigo Instituto Goiano de Radiologia (IGR) - desativado há dois anos - foi removida, violada e vendida como ferro-velho por dois trabalhadores. Atraídos pela intensa luminescência azul do sal de césio-137 contido na cápsula, adultos e crianças o manipularam e distribuíram-no entre parentes e amigos. O saldo dessa experiência foi a morte de 4 pessoas e a contaminação, em maior ou menor grau, de mais de 200 pessoas. Um complexo encadeamento desses fatos resultou na contaminação de três depósitos de ferro-velho, diversas residências e locais públicos. As pessoas contaminadas, que procuraram farmácias e hospitais, foram inicialmente medicadas como vítimas de alguma doença infecto-contagiosa.

*O POPULAR, Goiânia, 31 ago. 2007, p. 3 [Adaptado].*

A desintegração do  $^{137}\text{Cs}$  ocorre quando a partícula  ${}_{-1}\beta^0$  (elétron) é emitida no núcleo do átomo, enquanto na desintegração do  $^{137}\text{Ba}$  excitado ocorre com emissão de radiação gama ( $\gamma$ ), podendo ser representadas pelas equações a seguir:



Com base no texto 20 ANOS DO ACIDENTE RADIOATIVO DE GOIÂNIA e nas informações acima, é CORRETO afirmar:

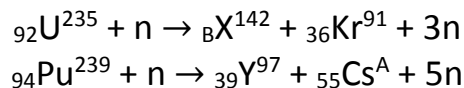
- Por causa da maior massa atômica do bário, a força que ele exerce sobre a partícula  ${}_{-1}\beta^0$  é maior que a força que a partícula  ${}_{-1}\beta^0$  exerce sobre ele.
- Segundo o modelo atômico de Rutherford-Bohr, o decaimento  ${}_{-1}\beta^0$  ocorre quando um elétron muda para um orbital de menor energia.
- A luminescência azul emitida pelo sal de césio-137, por ser a própria radiação gama, foi uma das responsáveis pelos danos biológicos causados.
- No decaimento  ${}_{-1}\beta^0$  há uma redução do número de nêutrons no núcleo.

28 O flúor-18 é um radioisótopo produzido num acelerador ciclotron. Associado à deoxiglicose, esse radioisótopo revela, pela emissão de pósitrons, as áreas do organismo com metabolismo intenso de glicose, como o cérebro, o coração e os tumores ainda em estágio muito inicial. Quando um átomo de flúor-18 emite um pósitron, o átomo resultante será um isótopo do elemento químico

- cloro.
- flúor.
- neônio.
- oxigênio.
- nitrogênio.

29 60 anos após as explosões das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, oito nações, pelo menos, possuem armas nucleares. Esse fato, associado a ações terroristas, representa uma ameaça ao mundo. Na cidade de Hiroshima foi lançada uma bomba de urânio-235 e em Nagasaki uma de plutônio-239, resultando em mais de cem mil mortes imediatas e outras milhares como consequência da radioatividade.

As possíveis reações nucleares que ocorreram nas explosões de cada bomba são representadas nas equações:



Nas equações, B, X, A e o tipo de reação nuclear são, respectivamente:

- 52, Te, 140 e fissão nuclear.
- 54, Xe, 140 e fissão nuclear.
- 56, Ba, 140 e fusão nuclear.
- 56, Ba, 138 e fissão nuclear.
- 56, Ba, 138 e fusão nuclear.

30 Os irradiadores de alimentos representam hoje uma opção interessante na sua preservação. O alimento irradiado, ao contrário do que se imagina, não se torna radioativo, uma vez que a radiação que recebe é do tipo gama. A radiação é produzida pelo cobalto-60 ( $Z = 27$ ), cujo núcleo decai emitindo uma partícula beta, de carga negativa, resultando no núcleo de certo elemento X. O elemento X é:

- Mn ( $Z = 25$ ).
- Fe ( $Z = 26$ ).
- Co ( $Z = 27$ ).
- Ni ( $Z = 28$ ).
- Cu ( $Z = 29$ ).

31 Leia as informações contidas no quadro, a seguir:

Confira como funciona uma das etapas exigidas para a fabricação da bomba atômica e centro da polêmica Brasil-EUA

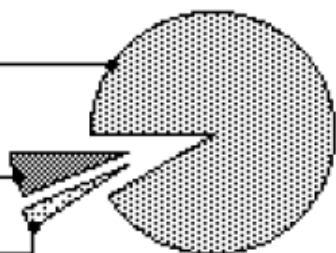
### COMPOSIÇÃO DO URÂNIO (U)

O urânio natural contém átomos de diferentes massas chamados de isótopos, principalmente U-238 e U-235

Urânio-238  
99,3%

Urânio-235  
0,7%

Outros isótopos  
<0,01%



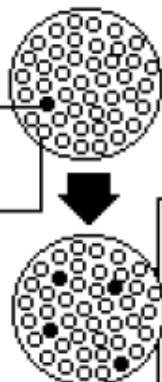
### CONCENTRAÇÃO DO URÂNIO

Urânio natural  
0,7% de urânio combustível

Urânio-235  
combustível

Urânio-238  
combustível

Urânio enriquecido  
3% a 5% de urânio combustível

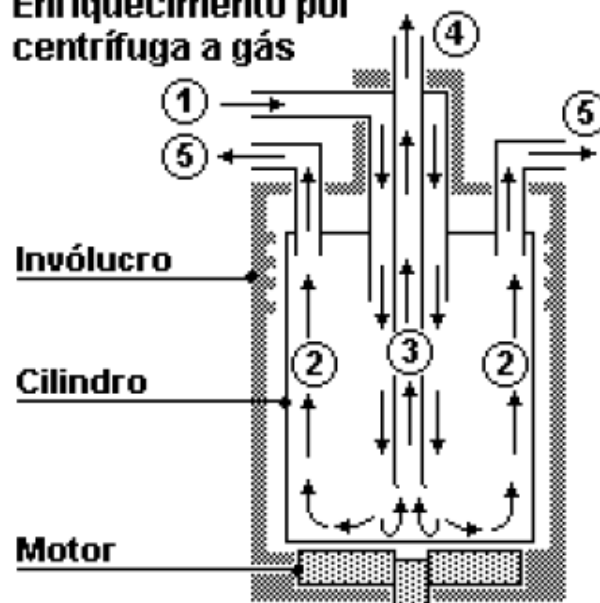


O urânio natural deve ser enriquecido até a concentração de 3 a 5% de urânio-235 antes de ser usado como combustível em usinas nucleares

### ENRIQUECIMENTO

É o processo de separação do urânio-238 e do urânio-235

Enriquecimento por centrífuga a gás



Estágios da separação do U-238 e do U-235

- O gás hexafluoreto de urânio alimenta o cilindro e o faz girar em altas velocidades.
- Moléculas pesadas de U-238 são expulsas do cilindro.
- Moléculas mais leves de U-235 se concentram no centro do cilindro.
- O gás levemente enriquecido de U-235 alimenta o próximo estágio.
- O gás levemente esgotado de U-235 realimenta o estágio inicial.

Fonte: Comissão Reguladora de Energia Nuclear dos EUA.

"O POPULAR", Goiânia, 23 de out. 2004, p.23. [adaptado].

a) Determine a massa atômica do urânio, na amostra natural e na amostra enriquecida a 5%. Considere apenas os isótopos 235 e 238.

b) Explique como, no "processo de separação", o urânio 238 é enriquecido em urânio 235.

Um dos grandes problemas ambientais de nossa sociedade diz respeito ao destino final do lixo que produzimos. Orgânico ou inorgânico, sólido ou semi-sólido, proveniente de residências ou de indústrias, o lixo é resultado da atividade humana, muito embora também possa ser gerado a partir de fenômenos naturais que carregam e espalham porções de terra, areia, pó e folhas.

Várias ações têm sido propostas visando à redução, à reciclagem e à reutilização do lixo. Esses procedimentos, no entanto, não são aplicáveis a um tipo de lixo: o lixo radioativo, gerado pelos reatores nucleares das usinas atômicas.

O lixo radioativo representa um problema ambiental sério, de solução difícil e que exige alto investimento. Afinal, a radiação emitida por uma substância, concentrada e não controlada, é extremamente prejudicial à nossa saúde, pois danifica as células do organismo, causando diversos tipos de doenças, algumas incuráveis.

Uma substância radioativa é constituída por núcleos atômicos instáveis que emitem radiação para adquirir estabilidade. Essa instabilidade está relacionada à proporção entre o número de prótons e o de nêutrons, do qual dependem também as radiações emitidas. Uma delas é a radiação  $\alpha$  (alfa), formada por partículas com dois prótons e dois nêutrons. Outro tipo de radiação, a radiação  $\beta$  (beta), é um elétron emitido em grande velocidade pelo núcleo do elemento radioativo. Em muitos núcleos, a emissão de partículas  $\alpha$  e  $\beta$  é seguida de emissão de energia em forma de uma onda eletromagnética denominada radiação  $\gamma$  (gama).

#### O QUE É MEIA-VIDA?

Com a passagem do tempo, a capacidade de emissão de radiação de uma amostra diminui. A meia-vida é uma medida da taxa dessa diminuição. Como o nome sugere, meia-vida é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O isótopo radioativo rádio-226, por exemplo, tem uma meia vida de 1620 anos. Assim, se considerarmos uma massa inicial de rádio-226, passados 1620 anos, metade dessa massa não será mais rádio-226, tendo se transmutado em outro elemento. Passado esse período, nos próximos 1620 anos, metade do rádio-226 remanescente se transformará em outro elemento, restando apenas um quarto da massa radioativa original de rádio-226 na amostra.

Veja outros valores de meia-vida.

#### ISÓTOPO RADIOATIVO E SUA MEIA-VIDA

Iodo-131 - 8 dias

Cobalto-60 - 5, 27 anos

Césio-137 - 30 anos

Urânio-228 - 4, 5 bilhões de anos

Nas questões seguintes, eventualmente, você precisará de informações e dados contidos no texto. Procure-os com atenção.

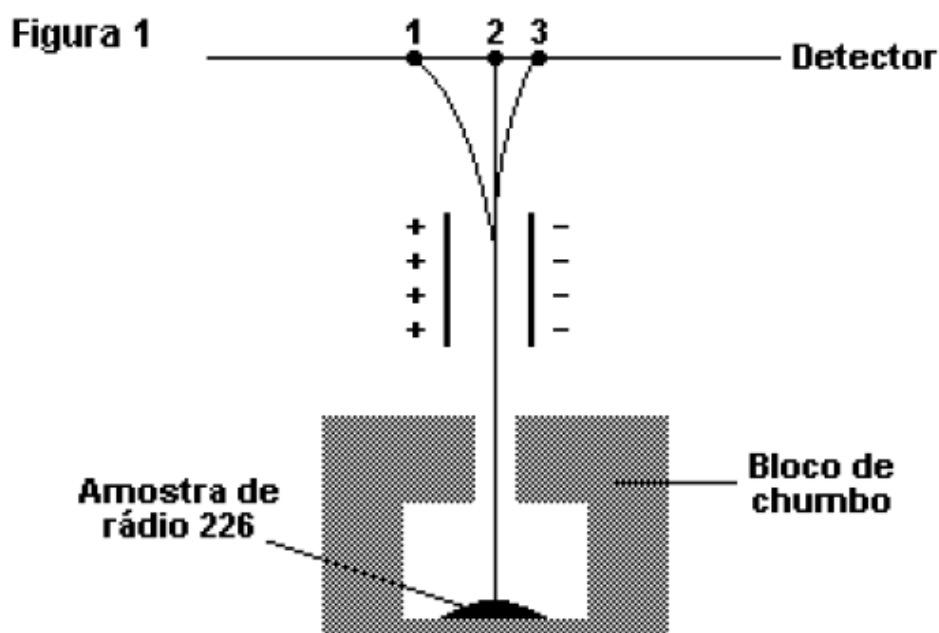


Figura 1 - Tipos de radiação emitidas por uma amostra de rádio-226 e os desvios sofridos por elas devido à ação de um campo elétrico uniforme.

- a) Observando a figura 1, relacione as radiações (alfa), (beta) e  $\gamma$  (gama) aos percursos 1, 2, e 3. Justifique sua resposta.
- b) Quanto tempo será necessário para que uma amostra de Iodo-131 tenha sua atividade radioativa reduzida à quarta parte?
- c) Considere uma massa inicial de 1600 mg de rádio-226 e faça o esboço do gráfico da função que relaciona a quantidade de massa radioativa de rádio-226, em mg, ao tempo, em anos. Nesse gráfico deve ser possível identificar claramente as coordenadas de, pelo menos, 5 pontos.
- d) Partindo de amostra inicial de 1000 mg de cézio-137, escreva uma sequência de quatro termos referentes aos valores das massas radioativas restantes de cézio-137, após períodos de tempo iguais a uma, duas, três e quatro meias-vidas. Em seguida, sendo  $y$  a massa radioativa restante da amostra, em miligramas, e  $t$  o período de tempo decorrido, em anos, determine a equação matemática  $y=f(t)$ .

**33** O acidente do reator nuclear de Chernobyl, em 1986, lançou para a atmosfera grande quantidade de  ${}_{38}\text{Sr}^{90}$  radioativo, cuja meia-vida é de 28 anos. Supondo ser este isótopo a única contaminação radioativa e sabendo que o local poderá ser considerado seguro quando a quantidade de  ${}_{38}\text{Sr}^{90}$  se reduzir, por desintegração, a  $1/16$  da quantidade inicialmente presente, o local poderá ser habitado novamente a partir do ano de:

- a) 2014  
b) 2098  
c) 2266  
d) 2986  
e) 3000

Utilize o texto abaixo para responder aos enunciados **34** e **35**. Com a poluição do meio ambiente, os organismos vivos, às vezes, concentram em seus corpos elementos químicos nocivos que os rodeiam.

Uma forma de poluição ambiental é aquela ocasionada pelo estrôncio-90, é uma das maneiras em que se dá a sua contaminação é pelo leite de vaca, segundo a rota: Capim  $\rightarrow$  vaca  $\rightarrow$  leite  $\rightarrow$  homem. Se a forma radioativa do estrôncio-90 entrar no organismo animal, este será quase que totalmente fixado e aí permanecerá emitindo radiações capazes de matar o tecido vivo ou produzir mutações, incluindo danos cromossômicos.

**34** Considere que um certo organismo vivo fixou 0,08 mg de estrôncio-90, e que a sua meia-vida é igual a 28 anos. O tempo necessário, em anos para reduzir essa quantidade de isótopo radioativo a 0,02mg é:

- a) 112  
b) 56  
c) 28  
d) 14  
e) 7

**35** O fenômeno da fixação do radioisótopo citado no texto é devido ao seu comportamento químico, que é semelhante ao do elemento químico:

- a) cézio.  
b) selênio.  
c) potássio.  
d) chumbo.  
e) cálcio.

**36** Para diagnósticos de anomalias da glândula tireoide, por cintilografia, deve ser introduzido, no paciente, iodeto de sódio, em que o ânion iodeto é proveniente de um radioisótopo do iodo (número atômico 53 e número de massa 131). A meia-vida efetiva desse isótopo (tempo que decorre para que metade da quantidade do isótopo deixe de estar presente na glândula) é de aproximadamente 5 dias.

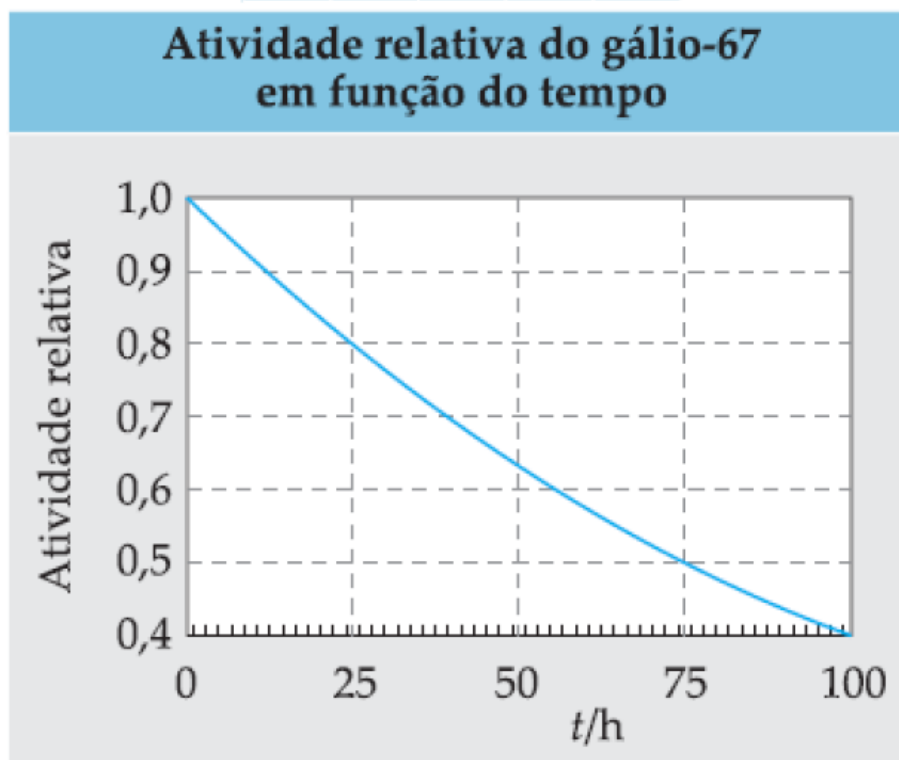
- a) O radioisótopo em questão emite radiação  $\beta$ . O elemento formado nessa emissão é  ${}_{52}\text{Te}$ ,  ${}^{127}\text{I}$  ou  ${}_{54}\text{Xe}$ ? Justifique. Escreva a equação nuclear correspondente.
- b) Suponha que a quantidade inicial do isótopo na glândula (no tempo zero) seja de 1,000  $\mu\text{g}$  e se reduza, após certo tempo, para 0,125  $\mu\text{g}$ . Com base nessas informações, trace a curva que dá a quantidade do radioisótopo na glândula em função do tempo, colocando os valores nas coordenadas adequadamente escolhidas.



37 Para determinar o volume de sangue de uma pessoa, injeta-se em sua corrente sanguínea uma solução aquosa radioativa de citrato de gálio e, depois de certo tempo, colhe-se uma amostra de sangue e mede-se sua atividade. Em uma determinação, a concentração do radioisótopo gálio-67 na solução era de  $1,20 \times 10^{12}$  átomos por mililitro, no momento de sua preparação. Decorridas 24 horas de sua preparação, 1,00mL dessa solução foi injetado na pessoa. A coleta de sangue foi feita 1 hora após a injeção, sendo que a amostra coletada apresentou  $2,00 \times 10^8$  átomos de gálio-67 por mililitro. A diminuição da concentração do radioisótopo deveu-se apenas ao seu decaimento radioativo e à sua diluição no sangue.

a) Use o gráfico abaixo para determinar de quanto caiu a atividade do gálio-67, após 25 horas.

29	30	31	32	33
Cu	Zn	Ga	Ge	As



b) Calcule o volume de sangue da pessoa examinada.

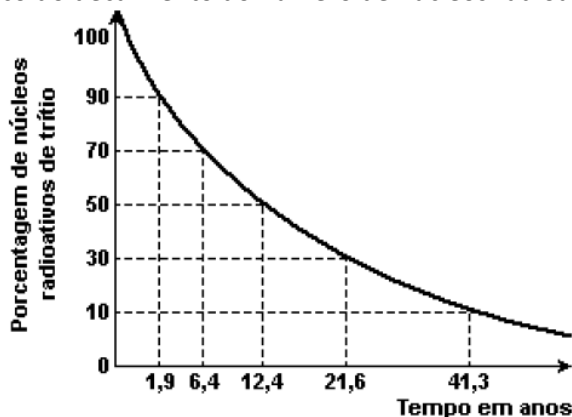
c) O gálio-67 emite radiação  $\gamma$  quando seu núcleo captura um elétron de sua eletrosfera. Escreva a equação dessa reação nuclear e identifique o nuclídeo formado.

38 Recentemente, a imprensa noticiou o caso do envenenamento por polônio-210 de um ex-agente secreto soviético. Sabe-se, em relação a esse isótopo, que:

- ao se desintegrar, emite uma partícula alfa;
- em 420 dias, uma amostra de 200 mg decai para 25 mg;
- o isótopo formado nesse decaimento forma um íon divalente.

Calcule o tempo de meia-vida do polônio-210.

39 A datação de lençóis freáticos pode ser realizada com base na relação entre a quantidade de hélio triogênico  $^3\text{He}$ , decorrente do decaimento radioativo do trítio  $^3\text{H}$ , na amostra de água. De modo simplificado, essa datação pode ser determinada pelo produto entre o tempo de meia-vida do trítio e a razão entre as quantidades de hélio triogênico e trítio, multiplicados por 0,7. O gráfico do decaimento do número de núcleos radioativos de trítio é mostrado adiante.



Tendo em vista essas informações, calcule a idade de uma amostra de água retirada de um lençol freático, cuja concentração de hélio triogênico é três vezes maior que a quantidade de trítio.

#### 40 FIM DA 2ª GUERRA MUNDIAL - BOMBA ATÔMICA SESENTA ANOS DE TERROR NUCLEAR

*Destruídas por bombas, Hiroshima e Nagasaki hoje lideram luta contra essas armas*

*Domingo, 31 de julho de 2005 - O GLOBO*

*Gilberto Scofield Jr.*

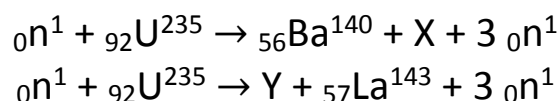
*Enviado especial Hiroshima, Japão*

"Shizuko Abe tinha 18 anos no dia 6 de agosto de 1945 e, como todos os jovens japoneses durante a Segunda Guerra Mundial, ela havia abandonado os estudos para se dedicar ao esforço de guerra. Era um dia claro e quente de verão e às 8h, Shizuko e seus colegas iniciavam a derrubada de parte das casas de madeira do centro de Hiroshima para tentar criar um cordão de isolamento antiincêndio no caso de um bombardeio incendiário aéreo. Àquela altura, ninguém imaginava que Hiroshima seria o laboratório de outro tipo de bombardeio, muito mais devastador e letal, para o qual os abrigos antiincêndio foram inúteis".

"Hiroshima, Japão. Passear pelas ruas de Hiroshima hoje - 60 anos depois da tragédia que matou 140 mil pessoas e deixou cicatrizes eternas em outros 60 mil, numa população de 400 mil - é nunca esquecer o passado. Apesar de rica e moderna com seus 1,1 milhão de habitantes circulando em bem cuidadas ruas e avenidas, os monumentos às vítimas do terror atômico estão em todos os lugares".

Sessenta anos após o fim da Segunda Guerra Mundial, ainda nos indignamos com a tragédia lançada sobre Hiroshima e Nagasaki. A bomba que destruiu essas cidades marcou o início da era nuclear. O fenômeno se constituiu de uma reação em cadeia, liberando uma grande quantidade de energia, muito maior do que aquela envolvida em reações químicas. Em virtude disso, a fissão nuclear é usada nas usinas termoelétricas, que visam a transformar energia térmica em energia elétrica. O combustível principal é o Urânio.

Considerando as equações a seguir:



a) determine X e Y, com número atômico e número de massa de cada um.

b) Sabendo-se que o tempo de meia vida do Urânio ( ${}_{92}\text{U}^{235}$ ) é 4,5 bilhões de anos, calcule o tempo necessário para reduzir a 1/4 uma determinada massa desse nuclídeo.



**Esse símbolo  
identifica alimentos  
irradiados**

Estima-se que, no Brasil, a quantidade de alimentos desperdiçados seria suficiente para alimentar 35 milhões de pessoas. Uma das maneiras de diminuir esse desperdício é melhorar a conservação dos alimentos. Um dos métodos disponíveis para tal fim é submeter os alimentos a radiações ionizantes, reduzindo, assim, a população de microorganismos responsáveis por sua degradação.

Uma das tecnologias existentes emprega o isótopo de número de massa 60 do Cobalto como fonte radioativa. Esse isótopo decai pela emissão de raios gama e de uma partícula e é produzido pelo bombardeamento de átomos de Cobalto de número de massa 59 com nêutrons.

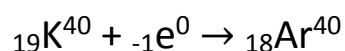
(Dados: Co (Z = 27); Ni (Z = 28)).

a) Escreva a reação de produção do Cobalto-60 a partir do Cobalto-59 e a reação de decaimento radioativo do Cobalto-60.

b) Um aparelho utilizado na irradiação de alimentos emprega uma fonte que contém, inicialmente, 100 gramas de Cobalto-60.

Admitindo que o tempo de meia-vida do Cobalto-60 seja de cinco anos, calcule a massa desse isótopo presente após quinze anos de utilização do aparelho.

**42** Na datação de rochas pode-se empregar a técnica do potássio-40. A conversão deste isótopo em argônio-40, por captura de elétron, tem meia-vida de  $1,28 \times 10^9$  anos e é representada pela seguinte equação:



a) Estime a idade, em anos, de uma amostra de rocha cuja razão entre os números de isótopos de argônio-40 e potássio-40 seja igual a 7. Assuma que todo o argônio presente na rocha foi produzido a partir do potássio-40.

b) Existe uma outra forma de decaimento do potássio-40, que consiste na emissão de uma partícula beta. Escreva a equação química que representa esta emissão.

**43** Vivemos em uma época notável. Os avanços da ciência e da tecnologia nos possibilitam entender melhor o planeta em que vivemos. Contudo, apesar dos volumosos investimentos e do enorme esforço em pesquisa, a Terra ainda permanece misteriosa. O entendimento desse sistema multifacetado, físico-químico-biológico, que se modifica ao longo do tempo, pode ser comparado a um enorme quebra-cabeças. Para entendê-lo, é necessário conhecer suas partes e associá-las. Desde fenômenos inorgânicos até os intrincados e sutis processos biológicos, o nosso desconhecimento ainda é enorme. Há muito o que aprender. Há muito trabalho a fazer. Nesta prova, vamos fazer um pequeno ensaio na direção do entendimento do nosso planeta, a Terra, da qual depende a nossa vida.

A matéria orgânica viva contém uma relação  ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  constante. Com a morte do ser vivo, essa razão vai se alterando exponencialmente com o tempo, apresentando uma meia-vida de 5600 anos.

Constatou-se que um riacho, onde ocorreu uma grande mortandade de peixes, apresentava uma quantidade anômala de substâncias orgânicas. Uma amostra da água foi retirada para análise. Estudando-se os resultados analíticos referentes à relação  ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ , concluiu-se que a poluição estava sendo provocada por uma indústria petroquímica e não pela decomposição natural de animais ou plantas que tivessem morrido recentemente.

a) Como foi possível, com a determinação da relação  ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ , afirmar com segurança que o problema tinha se originado na indústria petroquímica?

b) Descreva, em poucas palavras, duas formas pelas quais a presença dessa matéria orgânica poderia ter provocado a mortandade de peixes.

# GABARITO

## 01- Alternativa D

Frase I – O aumento na temperatura de um líquido diminui a solubilidade dos gases nele contidos.

Frase II – Sendo os peixes animais peclótermos, a mudança na temperatura da água afeta seu metabolismo, podendo representar, dependendo da intensidade da modificação, um impacto ambiental.

Frase III – O aumento da temperatura da água favorece a proliferação de microrganismos.

## 02- Alternativa E

A proibição total do uso de materiais radioativos e de gases tóxicos, preconizada pela frase I, é impossível, devido à sua aplicação médica e industrial. As demais frases representam medidas adequadas para evitar novos acidentes do gênero.

## 03- Alternativa A

Em funcionamento normal, a água do mar é utilizada para a refrigeração da usina, sendo, portanto, aquecida.

O aquecimento das águas pode alterar a fauna marinha.

## 04- Alternativa D

Em relação às afirmativas, pode-se dizer:

I: Nas reações de fissão, não ocorre a liberação de CO<sub>2</sub> e óxidos de enxofre e nitrogênio, os principais responsáveis pelo efeito estufa e pela chuva ácida.

II: Como os combustíveis utilizados em usinas nucleares são radioativos, sempre há riscos para o meio ambiente e para os seres vivos, em caso de acidente.

Evidentemente, há riscos para o ambiente e para os seres vivos sempre que um acidente acontece em alguma obra de engenharia.

O progresso tecnológico proporcionou mecanismos de prevenção de falhas que permitem a operação de usinas termonucleares, com segurança, em vários países.

Assim, o primeiro argumento é claramente válido e o segundo, passível de discussão mais apurada. Dada a estrutura das alternativas, escolhemos a que melhor se adapta.

## 05- Alternativa A

O “lixo atômico”, em grande parte, é formado por substâncias radioativas que se caracterizam pela emissão de ondas eletromagnéticas de alta energia. Por esse motivo, essas radiações são nocivas ao meio ambiente e à saúde humana.

O período de emissão dessas radiações pode atingir milhares de anos e não pode ser interrompido pela ação humana.

## 06- Alternativa B

$$\begin{array}{l} 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \text{ ————— } 100\% \\ 1,5 \text{ kg} \text{ ————— } x \end{array} \quad x = \frac{1,5 \text{ kg} \cdot 100\%}{1,0 \cdot 10^3 \text{ kg}} = 0,15\%$$

## 07- Alternativa C

Nas usinas nucleoeletrônicas, o urânio, por meio de reações nucleares que ocorrem no interior do reator, produz o plutônio. O plutônio, material físsil como o urânio, é utilizado atualmente para a produção de armamento nuclear.

## 08- Alternativa E

O poema retrata um grave problema de ordem ambiental, relacionado com a necessidade de se dar uma destinação final aos resíduos radioativos — sejam aqueles gerados no processo da produção de energia nas usinas nucleares, sejam aqueles resultantes do uso de equipamentos hospitalares que utilizam matérias-primas radioativas.

## 09- Alternativa E

O gráfico mostra a curva de decaimento de uma amostra de rádio-226 cuja meia-vida é de 1620 anos, isto é, a cada 1620 anos a massa da amostra se reduz à metade devido à sua desintegração radioativa.

$$1 \text{ kg} \xrightarrow{1620 \text{ anos}} \frac{1}{2} \text{ kg} \xrightarrow{1620 \text{ anos}} \frac{1}{4} \text{ kg} \xrightarrow{1620 \text{ anos}} \frac{1}{8} \text{ kg}$$

#### 10- Alternativa D

Tanto em uma usina geotérmica como em uma usina nuclear, ocorre transferência de energia térmica para água, vaporizando-a. O vapor de água gira uma turbina que, por sua vez, aciona um gerador, onde ocorre transformação de energia cinética da turbina em elétrica. Nas usinas geotérmicas a energia térmica é proveniente do núcleo aquecido da Terra, enquanto que, na usina nuclear, a energia térmica é proveniente de reações de fissão nuclear que ocorrem no reator da usina.

#### 11- Alternativa D

De acordo com o enunciado, o antimônio possui 50 prótons. A partir da análise do gráfico, verificamos que os isótopos estáveis possuem de 62 a 74 nêutrons, portanto, entre 12 e 24 nêutrons a mais que o número de prótons.

#### 12- Alternativa A

O texto propõe que as ciências e as técnicas sejam desenvolvidas tendo em vista necessidades mais humanas. Para tanto, elas devem ser geridas e elaboradas de maneira coletiva, visando atingir objetivos mais amplos e socialmente adequados.

#### 13- Alternativa A

O equívoco da companhia aérea, ao negar o transporte do material médico que foi irradiado para fins de esterilização, foi considerar que esse processo o tornaria uma fonte de emissão radioativa.

#### 14- Alternativa D

Depois de circular pelo reator nuclear, a água sai aquecida e volta para os mares, rios e lagos de origem, aquecendo então as suas águas (poluição térmica). Com isso, a solubilidade do O<sub>2</sub> na água diminui, podendo chegar a níveis insuportáveis e causar a mortandade de peixes e outros seres aquáticos. A usina nuclear não afeta os problemas ambientais I e III.

No caso da usina termoelétrica, os combustíveis utilizados têm elevado teor de enxofre e na sua queima são lançadas na atmosfera grandes quantidades de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), que por sua vez irá se transformar em ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), um componente da chuva ácida. A usina termoelétrica não afeta os problemas ambientais II e III.

#### 15- Alternativa A

As usinas hidrelétricas necessitam de grandes reservatórios de água, armazenada a uma certa altura em relação aos geradores. Esses reservatórios são capazes de alterar o microclima da região, além de provocar desequilíbrio da fauna e da flora local. Na queda da água, a energia potencial gravitacional é transformada em energia cinética que acaba por movimentar as imensas pás dos geradores de energia elétrica.

Nas termelétricas, a queima de combustíveis fósseis gera resíduos (gases e material particulado) que são despejados na atmosfera, agravando o aquecimento global e aumentando a poluição atmosférica. Nesse tipo de usina, a energia térmica proveniente da combustão gera vapor d'água que acaba por movimentar as pás dos geradores elétricos.

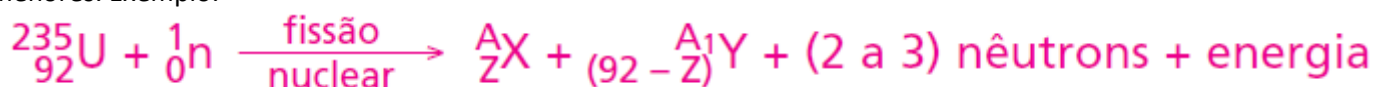
Nas term nucleares, a energia térmica provém da fissão nuclear de urânio. Grandes quantidades de água são usadas na refrigeração dessas usinas. A água aquecida é devolvida ao meio ambiente, provocando danos à fauna e à flora vizinhas aos cursos d'água. Além disso, os resíduos radioativos devem receber destinação adequada a fim de que não ocorram vazamentos de radiação que poderiam causar danos ao meio ambiente e à saúde pública.

#### 16- Alternativa A

I. Correta. A solubilidade dos gases em líquidos diminui com a elevação da temperatura; portanto, com o aquecimento da água dos mares e rios, a quantidade de O<sub>2</sub> dissolvido na água diminui, podendo chegar a níveis que produzem a morte dos peixes e de outros seres aquáticos.

II. Correta. A queima de carvão e de derivados do petróleo polui o ar com SO<sub>2</sub>, que produzirá chuva ácida, contendo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nela dissolvido. Isso não acontece na fissão nuclear do <sup>235</sup>U nem do <sup>239</sup>Pu.

III. Correta. O próprio nome fissão nuclear indica que os núcleos dos respectivos átomos são fragmentados em núcleos menores. Exemplo:



### 17- Alternativa C

- a) Errada. Apenas na água do circuito primário ocorrem atividades radioativas. No texto, é clara a informação de que as águas dos circuitos não entram em contato direto entre si.
- b) Errada. O texto diz que a água no circuito primário é submetida à pressão de 150atm para que, a 300 °C, ela permaneça em estado líquido.
- c) Certa. Nesse circuito, a água recebe calor do circuito primário e se transforma em vapor. A seguir, ela transfere calor para o circuito terciário e volta ao estado líquido.
- d) Errada. Somente a água do circuito primário apresenta resíduos radioativos.
- e) Errada. A água de refrigeração é aquecida pelo calor cedido pela água do circuito secundário. Devolver água aquecida ao meio ambiente diminui a taxa de oxigênio dissolvido na água do ambiente, prejudicando algumas espécies biológicas no ecossistema.

### 18- Alternativa A

- a) Certa. A água do circuito secundário é transformada em vapor pela absorção de calor. Esse vapor acaba por movimentar as pás de uma turbina.
- b) Errada. A energia potencial do núcleo do urânio é transformada em energia térmica para aquecer a água. Parte da energia térmica é transformada em energia mecânica, que aciona as turbinas. Finalmente, a energia mecânica do movimento das turbinas é transformada em energia elétrica.
- c) Errada. Apesar de, durante o processo, ocorrerem perdas de energia, o princípio geral de conservação de energia está garantido. Ainda não são conhecidos processos nos quais tal princípio tenha sido violado.
- d) Errada. Para a geração de energia elétrica, também há a energia potencial associada ao núcleo de urânio e a energia mecânica associada ao movimento das turbinas.
- e) Errada. A água do sistema de refrigeração não absorve toda a energia que foi recebida pela água do circuito secundário, uma vez que uma parcela é transferida para o gerador elétrico.

### 19- Alternativa D

Aplicando a equação da equivalência massa-energia, e lembrando de fazer os ajustes de unidades ( $4g = 4 \cdot 10^{-3}kg$ ), temos que:  $E = m \cdot c^2 \rightarrow E = 4 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \therefore E = 3,6 \cdot 10^{14}J$

### 20- Alternativa B

Confrontando as diversas interpretações registradas nos textos, identificando os seus pressupostos e analisando a validade dos argumentos utilizados, observa-se que, entre os argumentos favoráveis à implantação de usinas nucleares no Brasil, encontra-se a constatação de que os principais centros de consumo de energia elétrica no país estão localizados em áreas muito distantes das que apresentam potência hidrelétrica disponível para aproveitamento, o que justificaria a implantação de term nucleares.

### 21- Alternativa C

- (2) Sinaliza os locais e seus acessos, onde se armazenam ou se manuseiam substâncias ou misturas explosivas.
- (4) Sinaliza os locais com riscos biológicos.
- (1) Sinaliza os locais onde são utilizadas substâncias inflamáveis.
- (6) Sinaliza os locais com ocorrência de fontes de radiações ionizantes.
- (3) Sinaliza os locais com riscos de intoxicações por inalação, ingestão ou absorção cutânea de produtos químicos perigosos e que podem ter consequências graves para a saúde.
- (5) Sinaliza os locais onde se trabalha com substâncias que podem exercer uma ação destrutiva sobre os tecidos vivos, como ácidos e bases.

### 22- Alternativa B

Como a meia vida do cézio-137 é de 30 anos, a cada tempo de 30 anos se reduz a metade dos átomos radioativos. Então se em 1987 existiam 100% de átomos radioativos, isto significa que em 2017 existirá a metade destes átomos com atividade radioativa (50%) logo a razão R hoje (menos de 30 anos) estará compreendida entre 50% e 100%. Portanto  $1 < R < 0,5$ .

### 23- Alternativa C

$t = x \cdot P \rightarrow 11500 = x \cdot 5730 \rightarrow x = 2$ , ou seja, 2 períodos de meia vida.

Sendo assim temos: 100%  $\rightarrow$  50%  $\rightarrow$  25%

1P      2P

### 24- Alternativa A

O iodo não radioativo satura a tireóide, evitando desta forma a absorção do iodo-131 radioativo.

### 25- Alternativa E

100%  $\rightarrow$  50%  $\rightarrow$  25%  $\rightarrow$  12,5%

1P      2P      3P

Tempo de desintegração:  $t = 3 \cdot P = 3 \cdot 8 \text{ dias} \rightarrow t = 24 \text{ dias}$

### 26- Alternativa B

$$N = \frac{N_0}{2^X}, \text{ onde } X = t \cdot p, N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{p}}} \rightarrow N = \frac{10 \text{ ppb}}{2^{\frac{2000}{5600}}} \rightarrow N = 8,21 \text{ ppb}$$

### 27- Alternativa D

### 28- Alternativa D

### 29- Alternativa D

### 30- Alternativa D

### 31-

a) Massa atômica do urânio enriquecido a 5% = 237,85 u.

Massa atômica do urânio natural a 0,7% = 237,98 u.

b) Pela diferença de densidade. Como o urânio 235 é menos denso que o 238, ele se acumula no centro do cilindro em rotação, sendo então aspirado e separado do 238, que se acumula próximo às paredes do cilindro.

### 32-

a) Trajetória (1): partícula eletrizada com carga negativa é a radiação (elétron).

Trajetória (2): radiação eletromagnética (raios  $\gamma$ ), não é desviada pelo campo elétrico.

Trajetória (3): partícula eletrizada com carga positiva é a radiação  $\alpha$ .

b)

p      p

$I \rightarrow I/2 \rightarrow I/4$

tempo = 2 . p = 2 x 8 = 16 dias.

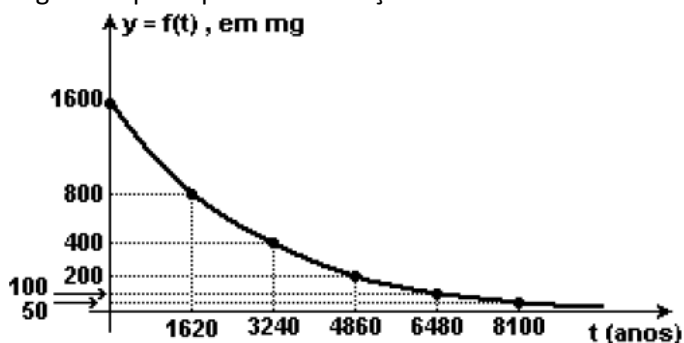
c) Função matemática:  $y = f(t) = m_0 \cdot (1/2)^{nt}$

$m_0$  = massa inicial; nt = número de meias-vidas

Temos para o rádio:

$n \cdot 1620 = 1$ , então,  $n = 1/1620$ , então,  $nt = (1/1620)t$  na fórmula anterior.

O gráfico que representa a função é



d) 1000 mg  $\rightarrow$  500 mg  $\rightarrow$  250 mg  $\rightarrow$  125 mg  $\rightarrow$  62,5 mg.

$y = 1000 \cdot (1/2)^{nt}$ , onde nt é o número de meias-vidas.

Para o céσιο-137:  $n \times 30 = 1 \rightarrow n = 1/30$ , logo fazemos  $nt = (1/30)t$  na fórmula anterior.

33- Alternativa B

34- Alternativa B

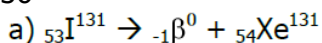
$$0,08 \text{ mg} \xrightarrow{P} 0,04 \text{ mg} \xrightarrow{P} 0,02 \text{ mg}$$

$$2P = 2 \times 28 \text{ anos} = 56 \text{ anos}$$

35- Alternativa E

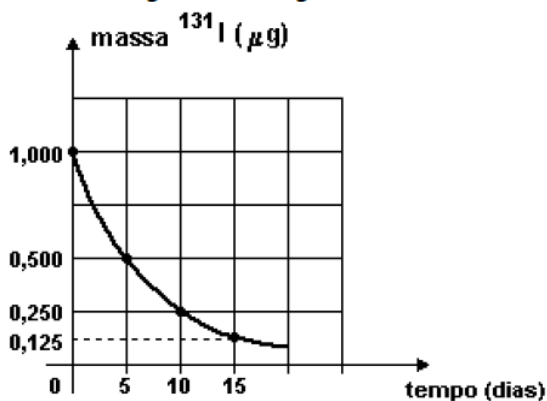
O estrôncio pertence à família dos metais alcalino terrosos (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra). O estrôncio radioativo fixa-se nos ossos, pois apresenta propriedades químicas semelhantes às do cálcio.

36-



Esta equação nuclear indica que o isótopo formado na desintegração do iodo -131 é o xenônio -131

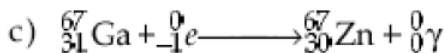
b) Observe o gráfico a seguir:



37-

a) Ocorreu decaimento de 0,2 (20%).

$$b) y = 4800 \text{ mL} = 4,80 \text{ L}$$

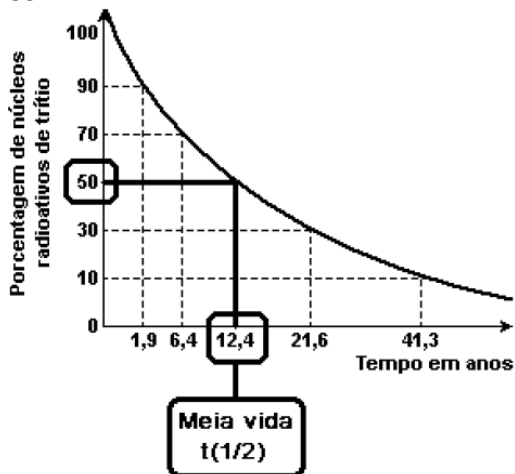


38-

$$200 \text{ mg} \rightarrow 100 \text{ mg} \rightarrow 50 \text{ mg} \rightarrow 25 \text{ mg}$$

Como foram decorridos 3 períodos de meia-vida, tem-se:  $420/3 = 140$  dias.

39-



$$t(1/2) = 12,4 \text{ anos.}$$

$$[{}^3\text{He}] = 3 \times [{}^3\text{H}], \text{ então:}$$

$$\frac{[{}^3\text{He}]}{[{}^3\text{H}]} = 3$$

$$\text{Idade da amostra} = t(1/2) \times \left(\frac{[{}^3\text{He}]}{[{}^3\text{H}]}\right) \times 0,7$$

$$\text{Idade da amostra} = 12,4 \times 3 \times 0,7$$

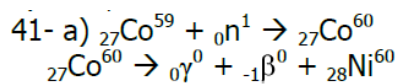
$$\text{Idade da amostra} = 26,04 \text{ anos} = 26 \text{ anos.}$$



40-

a)  $X = {}_{36}\text{Kr}^{93}$  e  $Y = {}_{35}\text{Br}^{90}$ .

b) O tempo necessário para reduzir uma determinada massa do  ${}_{92}\text{U}^{235}$  a 1/4 será de 9,0 bilhões de anos.



b)  $p = 5$  anos (período de semidesintegração)

15 anos =  $3p$

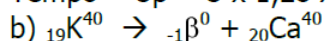
$$100 \text{ g} \xrightarrow{p} 50 \text{ g} \xrightarrow{p} 25 \text{ g} \xrightarrow{p} 12,5 \text{ g}$$

Após 15 anos teremos 12,5 g desse isótopo.

42-a) O resultado 7 foi obtido pela razão 7/1. A quantidade total de isótopos é  $1 + 7 = 8$ .

$$8 \xrightarrow{p} 4 \xrightarrow{p} 2 \xrightarrow{p} 1 \quad (p = \text{meia vida}).$$

Tempo =  $3p = 3 \times 1,28 \times 10^9 = 3,84 \times 10^9$  anos.



43-

a) A poluição produzida pela indústria petroquímica apresenta matéria orgânica com fósseis produzidos há milhares de anos, logo a relação  ${}^{14}\text{C}/{}^{12}\text{C}$  será menor do que a de um ser vivo, pois neste caso a quantidade de  ${}^{14}\text{C}$  decresce.

b) A matéria orgânica bloqueia a luz dificultando o processo de fotossíntese. Consequentemente forma-se menos gás oxigênio.