

**CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA  
MARINHA (CP-CEM/2023)**

**ENGENHARIA NUCLEAR**

**INSTRUÇÕES GERAIS**

- 1 - A duração da prova será de **05 horas** e o tempo não será prorrogado. Ao término da prova, entregue o caderno ao Fiscal sem retirar os grampos de nenhuma folha.
- 2 - Responda às questões utilizando caneta esferográfica azul ou preta. Não serão considerados o desenvolvimento da questão e as respostas a lápis. Confira o número de páginas de cada parte da prova.
- 3 - Só comece a responder à prova ao ser dada a ordem para iniciá-la, interrompendo a sua execução no momento em que for determinado.
- 4 - O candidato deverá preencher os campos:  
NOME DO CANDIDATO; NÚMERO DA INSCRIÇÃO e DV.
- 5 - Iniciada a prova, não haverá mais esclarecimentos. O candidato somente poderá deixar o seu lugar, devidamente autorizado pelo Supervisor/Fiscal, para se retirar definitivamente do recinto de prova ou, nos casos a seguir especificados, devidamente acompanhado por militar designado para esse fim: atendimento médico por pessoal designado pela Marinha do Brasil; fazer uso de banheiro e casos de força maior, comprovados pela supervisão do certame, sem que aconteça saída da área circunscrita para a realização da prova.  
Em nenhum dos casos haverá prorrogação do tempo destinado à realização da prova e, em caso de retirada definitiva do recinto de prova, esta será corrigida até onde foi solucionada.
- 6 - A solução deve ser apresentada nas páginas destinadas a cada questão.
- 7 - Não é permitida a consulta a livros ou apontamentos.
- 8 - A prova não poderá conter qualquer marca identificadora ou assinatura, o que implicará atribuição de nota zero.
- 9 - Será eliminado sumariamente do concurso e as suas provas não serão levadas em consideração o candidato que:
  - a) der ou receber auxílio para a execução de qualquer prova;
  - b) utilizar-se de qualquer material não autorizado;
  - c) desrespeitar qualquer prescrição relativa à execução das provas;
  - d) escrever o nome ou introduzir marcas identificadoras noutro lugar que não o determinado para esse fim; e
  - e) cometer ato grave de indisciplina.
- 10 - **É PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA.**

**NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR**

NOME DO PROFESSOR	RUBRICA

NOTA			USO DO SSPM

ESCALA DE 00,00 a 80,00

CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2023				
	NOME DO CANDIDATO:				
	Nº DA INSCRIÇÃO		DV		
NOTA			USO DO SSPM		
ESCALA DE 00,00 a 80,00					

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Desde 2 de dezembro de 1942, quando o primeiro reator nuclear feito pelo homem produziu uma reação em cadeia autossustentável, centenas de tipos diferentes de sistemas de reatores foram construídos. Entre eles, o reator de água pressurizada. Considere uma planta de água pressurizada que utiliza ácido bórico dissolvido no refrigerante e faça o que se pede.

- a) Defina excesso de reatividade ("K em excesso"). (2 pontos)
- b) A curva apresentada na figura abaixo representa o excesso de reatividade ao longo da vida do núcleo. Descreva o fenômeno apresentado na figura preponderante e como varia a concentração de boro entre os pontos A e B; B e C; e C e D. (2,4 pontos)

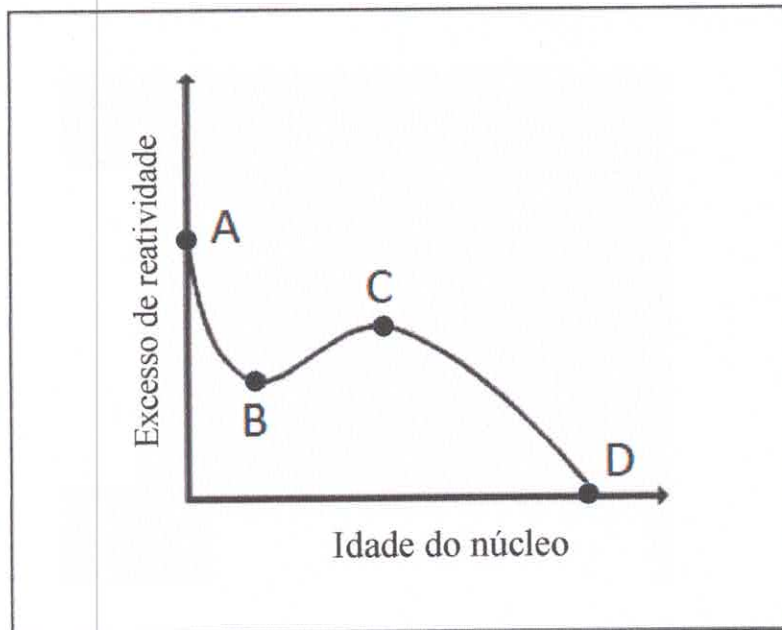


Figura - Curva do excesso de reatividade em função da idade do núcleo.

- c) Cite 2 (dois) impactos da variação do Xenônio-135 na operação do reator. (2 pontos)

**Continuação da 1ª questão**

d) Entre os pontos A e D, o núcleo do reator possui excesso de reatividade. Isso quer dizer que o reator está supercrítico durante todo esse período? Justifique. (1,6 ponto)

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

## 2ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine a figura abaixo.

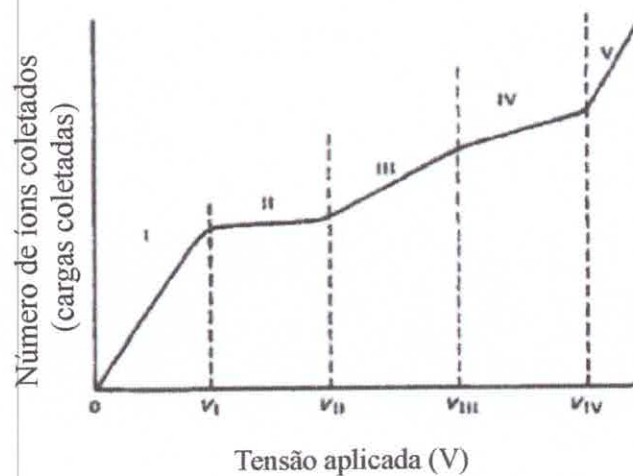


Figura - Diagrama de detectores a gás da tensão aplicada pelo número de íons coletados.

Os detectores de ionização gasosa são instrumentos de detecção de radiação usados em aplicações de proteção contra radiação para medir radiação ionizante. Sobre detectores de radiação comumente encontrados em uma instalação nuclear típica e utilizando a figura apresentada acima, faça o que se pede.

a) Geiger and Mueller desenvolveram o detector Geiger-Mueller (GM) em 1928. Esses detectores de radiação são dispositivos simples e robustos que continuam a ser uma ferramenta importante para medir a presença da radiação ionizante. Com base nessas informações, responda qual é a razão para a alta sensibilidade do detector de radiação Geiger-Mueller e cite um ponto negativo e um ponto positivo dessa alta sensibilidade. (2 pontos)

b) Durante a partida do reator, quando o fluxo neutrônico ainda é baixo, costumam-se utilizar contadores proporcionais de  $\text{BF}_3$ . Assim, justifique essa informação e cite a região do diagrama em que ocorre a operação desse detector. (2 pontos)

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

**Continuação da 2ª questão**

c) Considere que um detector de radiação preenchido com gás operando na região de câmara de ionização durante todo o tempo está exposto a um campo de radiação gama constante. No aumento de tensão, a saída do detector permanece constante. Assim, qual é a razão para isso? Cite a região do diagrama em que ocorre a operação desse detector. (1 ponto)

d) Em uma planta nuclear, existem alguns tipos de detectores mais comumente usados para mensurar o fluxo neutrônico do núcleo do reator. Entre os mais comuns, têm-se o detector de câmara de ionização compensada e o de câmara de ionização não compensada. Assim, qual é o princípio de funcionamento do detector de câmara de ionização compensada? (2 pontos)

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

### 3ª QUESTÃO (8 pontos)

Examine a figura abaixo.

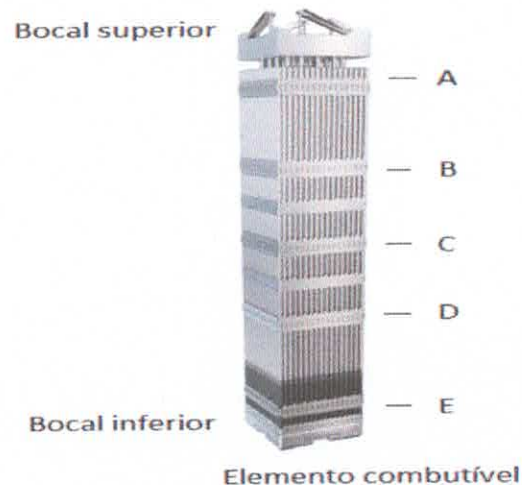


Figura - Elemento combustível tipo vareta de um reator PWR típico.

Considere um reator PWR típico com perfil axial de potência cossenoidal no elemento combustível, ou seja, pico de potência no centro geométrico. Com relação ao Fluxo Crítico de Calor (CHF - Critical Heat Flux) e à Partida da Ebulição Nucleada (DNB - Departure from Nucleate Boiling ou Afastamento da Ebulição Nucleada), faça o que se pede.

- O que é Fluxo Crítico de Calor? (2 pontos)
- Em que região da figura apresentada acima, a posição onde o Fluxo Crítico de Calor é maior durante a operação normal a 100% de potência? Justifique. (2 pontos)
- Em que região da figura apresentada acima, um elemento de combustível típico vai ter a mínima razão de DNB (DNBr - Departure from Nucleate Boiling Ratio)? Justifique. (2 pontos)
- Cite uma maneira de aumentar a margem de resfriamento do refrigerante do reator. Justifique. (2 pontos)

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023



Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

#### 4ª QUESTÃO (8 pontos)

Segundo a Teoria de Reatores, existe uma regra prática que afirma que se uma quantidade de reatividade positiva for adicionada a um reator subcrítico que faça com que a diferença entre o fator de multiplicação de nêutrons ( $K_{eff}$ ) e 1,0 caia pela metade, a taxa de contagem de nêutrons do reator dobrará. Sobre a taxa de contagem mensurada pelos detectores de nêutrons e sobre a reatividade em uma planta nuclear típica, faça o que se pede.

a) Um reator subcrítico tem uma taxa de contagem de faixa de fonte estável de 150 cps (contagem por segundo) com uma reatividade de desligamento de  $-2,0 \text{ \%}\Delta K/K$ . Assim, quanto de reatividade positiva deve ser adicionada para estabelecer uma taxa de contagem estável de 600 cps? (2 pontos)

b) Considere que um reator de água pressurizada típico, perto do final de um ciclo de combustível, foi desligado de 100% de potência e resfriado até  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante três dias. Durante o resfriamento, a concentração de boro foi elevada em 100 ppm. Dados os seguintes valores absolutos de reatividades adicionadas durante o desligamento e o resfriamento, atribua um (+) ou (-) conforme apropriado e calcule o valor da reatividade total dos itens abaixo. (2 pontos)

- I- Barras de controle = ( )  $6,918 \text{ \%}\Delta K/K$ ;
- II- Xenônio = ( )  $2,675 \text{ \%}\Delta K/K$ ;
- III- Defeito de potência = ( )  $1,575 \text{ \%}\Delta K/K$ ;
- IV- Boro = ( )  $1,040 \text{ \%}\Delta K/K$ ; e
- V- Resfriamento = ( )  $0,500 \text{ \%}\Delta K/K$ .

c) Por que a taxa de redução do  $K_{eff}$  (fator de multiplicação efetiva de nêutrons) é limitada em torno de 80 segundos, mesmo com todas as barras de controle e de segurança inseridas a partir de

**Continuação da 4ª questão**

100% de potência, depois de poucos minutos do desligamento do reator? (2 pontos)

d) O que é margem de desligamento (SDM-Shutdown Margin)? (2 pontos)

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

**5ª QUESTÃO (8 pontos)**

Uma usina nuclear de água pressurizada estava operando a 100% de potência por seis meses quando ocorreu uma ruptura na linha de vapor que resultou em um desligamento do reator e de todos os geradores de vapor (GVs), liberando vapor para atmosfera após, aproximadamente, uma hora. Essa liberação de vapor pelos GVs fez com que a temperatura do sistema de refrigeração do reator (RCS) diminuísse para 200°C, momento em que os GVs ficaram vazios e um aquecimento do RCS começou. Com base nessas informações, faça o que se pede.

Dados: Potência térmica nominal do reator = 3.400 MW;

Calor de Decaimento = 1,0 % de potência térmica nominal;

Entrada de calor da bomba de refrigeração do reator para o RCS = 14,4 MW;

Taxa de perda de calor total RCS = 2,4 MW;

Calor específico RCS = 4600 kJ/kg K; e

Inventário RCS (menos pressurizador) = 144.000 kg

- a) Defina calor de decaimento. (1,5 ponto)
- b) Há calor de decaimento durante a operação do reator? Justifique. (0,5 ponto)
- c) Qual será a taxa média de aquecimento (°C/hr) do RCS durante os cinco minutos imediatamente após todos os GVs ficarem vazios? (6 pontos)

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

**6ª QUESTÃO (8 pontos)**

Considere um reator PWR homogêneo, típico, vazio, em formato de elipsoide (bola de futebol americano), sem fonte, crítico, alimentado por urânio, operando a uma potência  $P_0$ . Cite e justifique se a potência do núcleo aumenta, diminui ou permanece inalterada como resultado de cada uma das mudanças separadas no reator apresentadas abaixo.

- a) A temperatura do núcleo diminui. (1,6 ponto)
- b) Uma fonte de nêutrons é aproximada do núcleo. (1,6 ponto)
- c) Um feixe de elétrons energéticos impacta o núcleo. (1,6 ponto)
- d) Uma folha de cádmio é enrolada em torno do núcleo. (1,6 ponto)
- e) O enriquecimento do combustível é diminuído. (1,6 ponto)

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023



### 7ª QUESTÃO (8 pontos)

Um paciente entrou em uma clínica para realizar o procedimento de irradiação de um tumor na região do pescoço, cuja fonte usava a radiação gama proveniente do  $\text{Co}^{60}$  como princípio de irradiação. Considere as seguintes informações sobre o procedimento realizado e faça o que se pede.

- I- A atividade da fonte é 15 kCi (quiloCurie);
- II- O tempo de irradiação do tumor durou 5 minutos;
- III- A distância entre a fonte e superfície do tumor era de 4 metros;
- IV- A meia vida do  $\text{Co}^{60}$  é de 5,26 anos;
- V- A constante da taxa de exposição para o  $\text{Co}^{60}$  vale 12,97 (mCi = miliCurie);
- VI- A energia do raio gama emitido pelo  $\text{Co}^{60}$  é igual 0,6 Mev;
- VII- A exposição de 1R (Röntgen) no ar equivale a uma deposição de 8,76 mGy (mGy = miliGray) de dose absorvida;
- VIII- Condição de equilíbrio eletrônico para todos os meios.
- IX- Considere o tumor como sendo uma gordura.
- X-  $\lambda = 0,693 / T_{1/2}$
- XI-  $e^{-2,635} = 0,072$ ; e
- XII- Razão para os coeficientes mássicos apresentada na tabela a seguir:

Energia do fóton (MeV)	f (água/ar)	f (músculo/ar)	f (gordura/ar)	f (osso/ar)
0,010	1,04	1,05	0,62	5,65
0,030	1,01	1,05	0,62	6,96
0,050	1,03	1,06	0,75	5,70
0,100	1,10	1,09	1,05	1,97
0,200	1,11	1,10	1,11	1,12
0,600	1,11	1,10	1,11	1,03
1,250	1,11	1,10	1,11	1,03

**Continuação da 7ª questão**

- a) Calcule o valor da taxa de exposição na entrada da pele do paciente. (2 pontos)
- b) Calcule a dose absorvida no ar na entrada da pele do corpo do paciente. (1,5 pontos)
- c) Calcule a dose absorvida no tumor. (1,5 ponto)
- d) Considere que a fonte ficou guardada por 20 anos. Quais os procedimentos poderiam ser adotados para garantir a mesma dose no tumor em um novo exame após esse período? Resolva as duas soluções possíveis. (3 pontos)

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

**8ª QUESTÃO (8 pontos)**

Ao sair do laboratório, a atividade de uma amostra de 2,5g de  $I^{131}$ , usada para fins diagnósticos, é de 10 mCi. Sabendo que a meia-vida do elemento em questão é de 8,04 dias e que o tempo gasto para chegar ao centro diagnóstico é de 3 dias, faça o que se pede.

$$1\text{Ci} = \text{Bq}; \text{ e}$$

$$\lambda = 0,693 / T_{1/2}$$

a) Calcule a atividade do elemento  $I^{131}$  ao chegar ao centro diagnóstico. (3 pontos)

b) Calcule o percentual de átomos de  $I^{131}$  remanescente. (5 pontos)

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

**9ª QUESTÃO (8 pontos)**

Sabe-se que a seção de choque dos elementos fornecem informações úteis sobre a interação envolvida em colisões de partículas. A partir da teoria de seção de choque, considere um feixe de nêutrons com energia de 2 MeV incidente sobre uma lâmina de água pesada ( $D_2O$ ). Considere, também, que a seção de choque total do deutério e do oxigênio nessa energia é de 3,6 barn e 2,4 barn, respectivamente. Sendo assim, faça o que se pede.

Dados:  $M_d = 2,01410$  g/mol;  
 $M_o = 15,9994$  g/mol;  
 $P_{D_2O} = 1,105$  g/cm<sup>3</sup>;  
 $N_A = 6,022 \times 10^{23}$  /mol; e  
 $\ln 5 = 1,609$ .

- a) Qual é a seção de choque macroscópica total do  $D_2O$  a 2MeV? (3 pontos)
- b) Qual é a espessura de lâmina para que a intensidade do feixe não colidido seja reduzida em um fator de 5 vezes? (3 pontos)
- c) Se um nêutron incidente colide com a placa, qual é a probabilidade relativa de colidir com um deutério? (2 pontos)

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023

**10ª QUESTÃO (8 pontos)**

Considere que a turbina a vapor do circuito secundário de um reator PWR é adiabática e é alimentada com vapor d'água a 1MPa e 300°C. Sabendo que a turbina realiza um trabalho real de 600kJ/kg e que o vapor d'água deixa o equipamento na pressão de 15 kPa, faça o que se pede.

Dados: A 1MPa e 300°C:

Entalpia: 3051,2 kJ/kg

Entropia: 7,1229 kJ/(kgK)

A 15kPa: Entropia do líquido saturado: 0,7549 kJ/(kgK)

Entropia do vapor saturado: 7,2536 kJ/(kgK)

Entalpia do líquido saturado: 255,9 kJ/kg

Entalpia do vapor saturado: 2373,1 kJ/kg

a) Calcule a eficiência isentrópica baseada na segunda lei da termodinâmica da referida turbina, Considerando desprezíveis as perdas relacionadas à energia cinética e ao potencial gravitacional do sistema. (6 pontos)

b) Calcule o título real de vapor na saída da turbina. ( 2 pontos)



Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS  
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2023