

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA
MARINHA (CP-CEM/2020)

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 consideradas respostas e desenvolvimento da questão 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 E RÉGUA SIMPLES.

NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR

RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA			USO DA DE_{ns}M
	000 A 080				

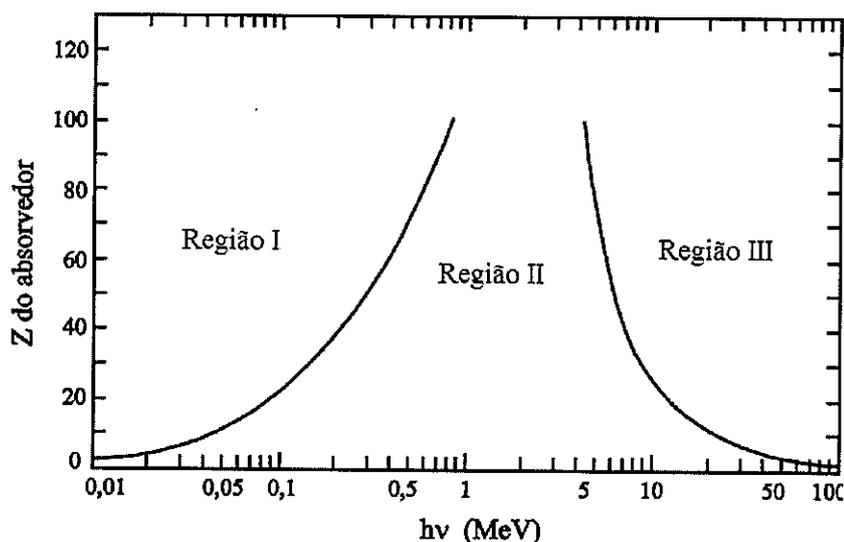
CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2020									
	NOME DO CANDIDATO:									
	Nº DA INSCRIÇÃO		DV	ESCALA DE	NOTA			USO DA DE_{ns}M		
			000 A 080							

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 8 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Os processos envolvidos em uma reação nuclear e a interação da radiação com a matéria são temas que fornecem base para a compreensão de diversas atividades na área da engenharia nuclear, seja na operação de reatores nucleares ou no princípio de funcionamento de detectores de radiação nuclear, por exemplo. Sendo assim, faça o que se pede nos itens abaixo:

- a) explique os três principais processos de interação da radiação gama com a matéria. Se necessário, faça desenhos simplificados para auxiliar na resposta; (2 pontos)
- b) identifique, no gráfico abaixo, a região de dominância de cada processo de interação da radiação gama com a matéria; (2 pontos)



- c) cite e explique pelo menos 4 (quatro) formas que o nêutron pode interagir com o núcleo atômico; e (2 pontos)

Continuação da 1ª questão

d) defina qual processo de interação é fundamental para a moderação (transição para faixa térmica) de nêutrons em um núcleo de um reator nuclear do tipo PWR. (2 pontos)

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Considere um reator nuclear genérico do tipo PWR, com os seguintes parâmetros termohidráulicos:

1. arranjo quadrático de suas varetas combustíveis;
2. potência térmica do reator: 3600 MW;
3. altura ativa do elemento combustível: 4,0 m;
4. número de elementos combustíveis: 225;
5. número de varetas combustíveis por elemento combustível: 236;
6. largura do elemento combustível: 0,2 m;
7. diâmetro externo de vareta combustível: 9,0 mm; e
8. porcentagem de potência depositada em varetas combustíveis: 90%.

Dado: $\pi = 3$

Com base nas informações fornecidas, faça o que se pede nos itens a seguir:

- a) calcule o diâmetro equivalente do núcleo e a densidade de potência no núcleo; (3 pontos)
- b) calcule a taxa linear média de geração de calor e o fluxo térmico médio na superfície da vareta combustível; e (3 pontos)
- c) desenvolva uma expressão para o cálculo da densidade de potência em função do pitch e da taxa linear média de geração de calor para um arranjo quadrático das varetas combustíveis. (2 pontos)

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

3ª QUESTÃO (8 pontos)

Com relação à operação de reatores nucleares do tipo PWR, existe a análise de diversos parâmetros. A reatividade, por exemplo, ajuda a entender como o reator desvia de sua criticalidade e a concentração de boro ajusta o nível de potência para obter uma potência constante ao longo da operação. A partir dessas análises, responda as perguntas abaixo.

- a) Quais são as três maneiras diferentes pelas quais a reatividade do reator pode ser alterada? (2 pontos)
- b) Ao longo de um ciclo de operação de um reator do tipo PWR, a reatividade total no núcleo aumenta, diminui ou se mantém constante? Justifique. (2 pontos)
- c) Em reatores PWR, é comum a utilização do ácido bórico como parâmetro de controle de operação. Considere um reator nuclear PWR no começo de seu ciclo com 1800 ppm (parte por milhão) de ácido bórico. A concentração se mantém constante, diminui ou aumenta ao longo da operação do reator? Justifique. (2 pontos)
- d) Qual a importância do uso de veneno queimável como o óxido de Gadolínio por exemplo, no projeto do núcleo de reatores do tipo PWR? Justifique sua resposta. (2 pontos)

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Um paciente entrou numa clínica para realizar o procedimento de irradiação de um tumor na superfície de sua pele, cuja fonte usava a radiação gama proveniente do ^{60}Co como princípio de irradiação. Considere as seguintes informações sobre o procedimento realizado:

1. a atividade da fonte é 10 kCi (quilo Curie);
2. o tempo de irradiação do tumor durou 3 minutos;
3. a distância entre a fonte e superfície do tumor era de 2 metros;
4. a meia vida do ^{60}Co é de 5,26 anos;
5. a constante da taxa de exposição para o ^{60}Co vale $12,97 \text{ R}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{mCi}^{-1}$ (mCi = miliCurie);
6. a energia do raio gama emitido pelo ^{60}Co é igual 0,6 MeV;
7. a exposição de 1 R (Röntgen) no ar equivale a uma deposição de 8,76 mGy (mGy = miliGray) de dose absorvida;
8. condição de equilíbrio eletrônico para todos os meios;
9. considere o tumor como sendo um músculo;
10. $\lambda = 0,693 / T_{1/2}$;
11. $e^{-1,317} = 0,268$; e
12. razão para os coeficientes mássicos:

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

A partir das informações fornecidas, faça o que se pede nos itens a seguir:

- a) calcule o valor da taxa de exposição na entrada da pele do paciente; (2 pontos)

Continuação da 4ª questão

- b) calcule a dose absorvida no ar na entrada da pele do corpo do paciente; (2 pontos)
- c) calcule a dose absorvida no tumor; e (2 pontos)
- d) considerando que a fonte ficou guardada por 10 anos descreva quais procedimentos poderiam ser adotados para garantir a mesma dose no tumor em um novo exame após esse período e resolva apenas uma das soluções possíveis. (2 pontos)

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Considere uma fonte plana de nêutrons extremamente fina e localizada na origem de um sistema emitindo S_0 nêutrons/cm²·seg, com o meio homogêneo, infinito, não multiplicativo e que os nêutrons que se difundem nesse meio são monoenergéticos. A fonte está localizada na coordenada $x = 0$ e não há variação do fluxo de nêutrons nas direções dos eixos Y e Z. A partir das informações fornecidas faça o que se pede nos itens a seguir:

- a) apresente a formulação da equação da difusão unidimensional para a situação acima, explicando o significado de cada termo; (3 pontos)
- b) rescreva a equação da difusão em função do comprimento de difusão de nêutrons; e (3 pontos)
- c) encontre a solução para a distribuição do fluxo de nêutrons. Considere como condição de contorno do problema: (2 pontos)

I. $\lim_{x \rightarrow \infty} \phi(x) < \infty$

II. $\lim_{x \rightarrow 0^+} -D \frac{d\phi(x)}{dx} = \frac{S_0}{2}$

Em que, $\phi(x)$ → Fluxo de nêutrons; e D → Coeficiente de difusão.

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

6ª QUESTÃO (8 pontos)

Na teoria de Difusão de Nêutrons, é comum definir dois parâmetros que ajudam nos cálculos de criticalidade, são eles o *Buckling* Geométrico e o *Buckling* Material.

$$B^2_m = \left(\frac{\nu \Sigma_f - \Sigma_a}{D} \right) \quad (\text{Buckling Material})$$

$$B^2_g = \left(\frac{\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{b} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{c} \right)^2 \quad (\text{Buckling Geométrico de um Paralelepípedo Retangular de arestas } a, b \text{ e } c)$$

Dados:

- número médio de nêutrons emitidos na fissão: 2,5;
- seção de choque macroscópica de absorção: $0,113 \text{ cm}^{-1}$;
- seção de choque macroscópica de transporte: $0,5 \text{ cm}^{-1}$;
- seção de choque macroscópica de fissão: $0,046 \text{ cm}^{-1}$;
- coeficiente de Difusão: $D = \left(\frac{1}{3 \Sigma_{tr}} \right)$; e
- $\pi = 3,14$.

De acordo com os dados apresentados, calcule a dimensão de um cubo em um meio multiplicativo, no vácuo, que torna o reator crítico.

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Dada a Equação de Transporte de Nêutrons, apresentada abaixo, descreva o significado físico de cada um dos termos destacados nos itens abaixo.

$$\frac{\partial n}{\partial t} + v\hat{\Omega} \cdot \nabla n + v\Sigma_t n(r, E, \hat{\Omega}, t) = \int_{4\pi} d\hat{\Omega}' \int_{4\pi} dv' \sum_s (E' \rightarrow E, \hat{\Omega}' \rightarrow \hat{\Omega}) n(r, E', \hat{\Omega}', t) + s(r, E, \hat{\Omega}, t)$$

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Calcule o preço do enriquecimento do urânio (em R\$/kg) para se obter um produto enriquecido a 3%, com empobrecimento do urânio de 0,2%. Despreze as perdas na conversão de U_3O_8 . Considerando que todo o problema se refere a uma usina que operou durante um intervalo de tempo 't'. Assuma o preço do urânio natural é de R\$ 600/kg, o custo da conversão é de R\$ 48/kg, e o preço por UTS é de R\$ 440.

Definições:

F - Quilogramas de Urânio Natural;

P - Quilogramas de Urânio Enriquecido;

W - Quilogramas de Urânio Empobrecido;

x_p - Fração de enriquecimento do produto;

x_w - Fração de enriquecimento do rejeito;

x_f - Fração de enriquecimento da alimentação;

PE - Preço de Enriquecimento (R\$/ kgU);

PU - Preço do Urânio Natural (R\$/kgU);

PC - Preço na Conversão de U_3O_8 para UF_6 (R\$/kgU);

PS - Preço do UTS;

UTS - Unidade de Trabalho Separativo;

SF - Fator de Separação (UTS/kg); e

V(x) - Função Valor.

Dados:

$$\ln(32,33)=3,476$$

$$\ln(139,65)=4,939$$

$$\ln(499)=6,213$$

Enriquecimento do Urânio Natural: 0,711%

$$\frac{F}{P} = \frac{x_p - x_w}{x_f - x_w}$$

$$SF = \frac{UTS}{P}$$

$$PE = (PU + PC) \frac{F}{P} + PS.SF$$

$$UTS = [P * V(x_p) + W * V(x_w) - F * V(x_f)]$$

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 8ª questão

$$V(x_i) = (1 - 2x) * \ln\left(\frac{1-x}{x}\right)$$

- a) Calcule o Fator de Separação (SF). (6 pontos)
- b) Calcule o custo do kg de Urânio enriquecido produzido. (2 pontos)

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

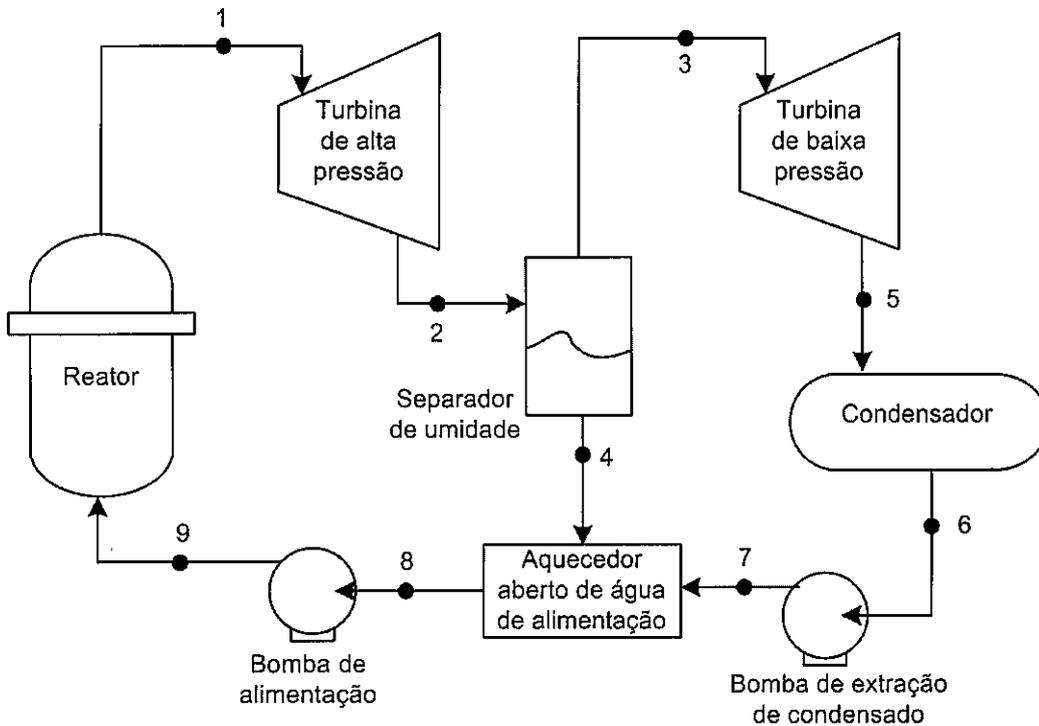
Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Observe o diagrama esquemático de uma planta BWR:



Esse reator apresenta uma potência térmica de 1,0 GW. Além disso, sabe-se que essa planta opera de acordo com as seguintes condições:

Estado	Pressão kPa	Condição de operação	Entalpia (kJ/kg)	Entropia (kJ/kgK)
1	6000	Vapor saturado	2785	5,890
2	1200	Mistura duas fases		
3	1200	Vapor saturado	2784	6,522
4	1200	Líquido saturado	798	2,216
5	20	Mistura duas fases		
6	20	Líquido saturado	251,4	0,832
7	1200	Líquido sub-resfriado		
8	1200	Líquido sub-resfriado		
9	6000	Líquido sub-resfriado	337,6	1,066
-	20	Vapor saturado	2609	7,907

Considerando que as bombas e as turbinas apresentam uma eficiência isentrópica de 100%, faça o que se pede nos itens a seguir:

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
 Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 9ª questão

- a) desenhe o diagrama temperatura-entropia (diagrama T-S) para esse ciclo, indicando cada estado e as respectivas isobáricas; (3 pontos)
- b) calcule a eficiência térmica desse ciclo termodinâmico; e (3 pontos)
- c) calcule a vazão mássica de líquido extraído no separador de umidade, para que garanta vapor saturado na entrada da turbina de baixa pressão. (2 pontos).

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

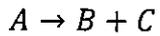
Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

10^a QUESTÃO (8 pontos)

Considere a reação nuclear de decaimento em 02 (dois) estágios, conforme as equações abaixo:



Considere:

N_A : número de desintegrações de A

N_B : número de desintegrações de B

N_C : número de desintegrações de C

N_D : número de desintegrações de D

N_E : número de desintegrações de E

λ_A : constante de decaimento de A

λ_B : constante de decaimento de B

λ_C : constante de decaimento de C

λ_D : constante de decaimento de D

λ_E : constante de decaimento de E

t: tempo

Dadas as considerações acima, calcule o número de desintegrações de B (N_B) em função do tempo e das constantes de decaimento, sabendo que, no instante inicial, admite-se que não foi formado B.

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2020

