

## DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

## GABARITO

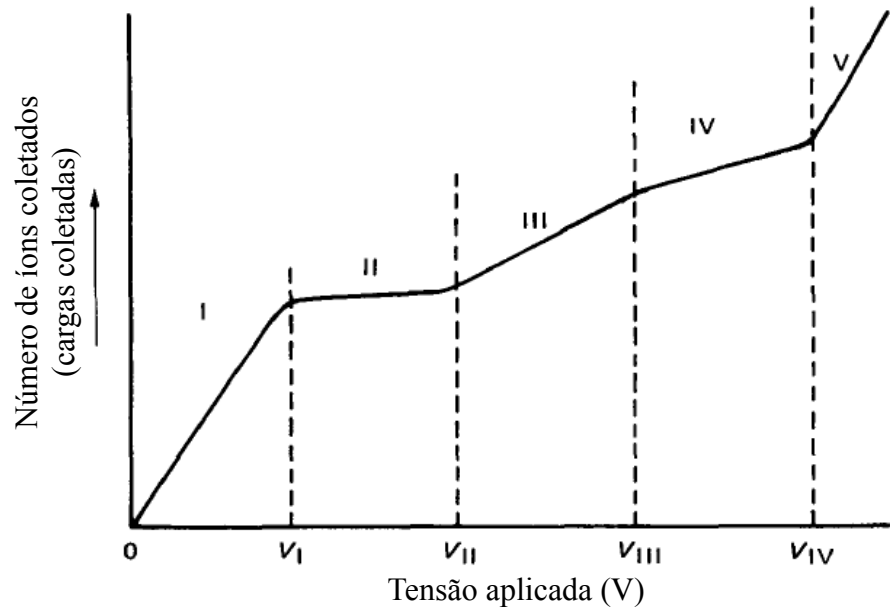
## ENGENHARIA NUCLEAR - 2018

Questão	Resposta
<p><b>1</b></p> <p><b>(8 pontos)</b></p>	<p><u><b>Ítem a) (1 ponto)</b></u></p> <p>Representa-se abaixo a fórmula dos seis fatores utilizada para o cálculo do Fator de Multiplicação de nêutrons (k):</p> $k = \eta \cdot f \cdot p \cdot \epsilon \cdot P_{FNL} \cdot P_{TNL}$ <p>(0.5 ponto)</p> <p><math>\eta</math> = fator de reprodução (ou fator de fissão térmica)</p> <p><math>f</math> = fator de utilização térmica</p> <p><math>p</math> = probabilidade de escape da ressonância</p> <p><math>\epsilon</math> = fator de fissão rápida</p> <p><math>P_{FNL}</math> = probabilidade de não fuga rápida</p> <p><math>P_{TNL}</math> = probabilidade de não fuga térmica (0.5 ponto)</p> <p><u><b>Ítem b) (6 pontos)</b></u></p> <p><math>\eta = \frac{\text{n}^\circ \text{ de nêutrons rápidos produzidos por fissões térmicas}}{\text{n}^\circ \text{ de nêutrons térmicos absorvidos no combustível}}</math> FAIXA 1</p> <p>ou o número de nêutrons de fissão produzido por cada absorção no combustível. (1 ponto)</p> <hr/> <p><math>f = \frac{\text{n}^\circ \text{ de nêutron térmicos absorvidos no combustível}}{\text{n}^\circ \text{ de nêutron térmicos absorvidos em todos os materiais existentes no reator}}</math> FAIXA 2</p> <p>ou Probabilidade de que um nêutron seja absorvido no material combustível. (1 ponto)</p> <hr/> <p><math>p = \frac{\text{n}^\circ \text{ de nêutrons rápidos que saem da região de ressonância}}{\text{n}^\circ \text{ de nêutrons rápidos que entram da região de ressonância}}</math> FAIXA 2</p> <p>ou Fração de nêutrons de fissão que conseguem reduzir sua energia desde a fissão até energias térmicas sem serem absorvidos na região de ressonância. (1 ponto)</p>

<p>CONTINUAÇÃO</p> <p>1</p>	<hr/> $\varepsilon = \frac{n^{\circ} \text{ de nêutrons rápidos produzidos por fissões em todas energias}}{n^{\circ} \text{ de nêutrons rápidos produzidos por fissões térmicas}}$ FAIXA 1 <p>ou fração de neutrons rápidos gerados totais (sobretudo no <math>^{238}\text{U}</math>) sobre os neutrons rápidos oriundos da fissão térmica. (1 ponto)</p>
	<hr/> $P_{FNL} = \frac{n^{\circ} \text{ de nêutrons rápidos que permanecem no núcleo após fuga}}{n^{\circ} \text{ de nêutrons rápidos existentes no núcleo antes da fuga}}$ FAIXA 2 <p>ou a probabilidade de que um nêutron rápido não escape do sistema. (1 ponto)</p>
	<hr/> $P_{TNL} = \frac{n^{\circ} \text{ de nêutrons térmicos que permanecem no núcleo após fuga}}{n^{\circ} \text{ de nêutrons térmicos existentes no núcleo antes da fuga}}$ FAIXA 2 <p>ou a probabilidade de que um nêutron térmico não escape do sistema. (1 ponto)</p>
	<hr/> <p><b><u>Ítem c) (1 ponto)</u></b></p> <p>Ao inserir uma barra de controle no núcleo do reator, reatividade negativa é inserida pois o material constituinte da barra é absorvedor de nêutrons. Dessa forma, menos nêutrons poderão ser absorvidos pelo combustível.</p> <p>É sabido que o fator de utilização térmica <math>f</math> dado por:</p> $f = \frac{n^{\circ} \text{ de nêutronstérmicos absorvidos no combustível}}{n^{\circ} \text{ de nêutronstérmicos absorvidos em todos os materiais existentes no reator}}$ <p>e é um dos fatores da fórmula dos 6 fatores que pode ser alterado pelo operador. Quando se movimenta uma destas barras, o denominador da expressão acima se modifica, alterando assim o valor do fator de utilização térmica (<math>f</math>) e conseqüentemente o fator de Multiplicação de neutrons (<math>k</math>).</p>

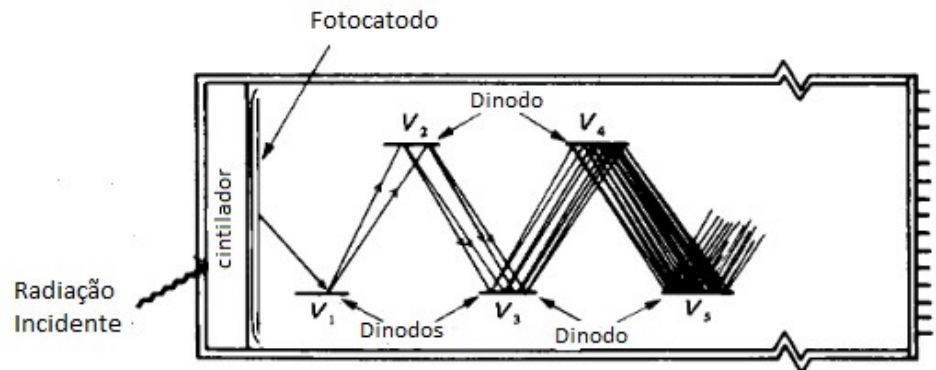
Questão	Resposta
<p><b>2</b></p> <p><b>(8 pontos)</b></p>	<p><u>Ítem a)</u></p> <p>da tabela 1</p> <p>para Fe temos <math>\frac{\mu}{\rho} = 0,0361</math> como <math>\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3</math> então</p> <p><math>\mu_{\text{ferro}} = 0,0361 * 7,8 = 0,282 \text{ cm}^{-1}</math></p> <p>para água temos <math>\frac{\mu}{\rho} = 0,0396</math> como <math>\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3</math> então</p> <p><math>\mu_{\text{água}} = 0,0396 * 1,0 = 0,0396 \text{ cm}^{-1}</math></p> <p>Como estão misturados em volume dois componentes o <math>\mu</math> total é a média ponderada de ambos porém, neste caso específico, 50% de cada teremos uma média simples.</p> <p><math display="block">\mu_{\text{total}} = \frac{0,282 + 0,0396}{2} = (0,282 * 0,5) + (0,0396 * 0,5) = 0,1608 \text{ cm}^{-1}</math></p> <p><math display="block">I_u = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot a} = 8,3 \cdot 10^5 * e^{-0,1608 \cdot 45} = 597,7 \text{ } \gamma / \text{cm}^2 \cdot \text{seg}</math></p> <p><u>Ítem b)</u></p> <p>basta multiplicar o fluxo obtido em a pelo fator de construção/acumulação fornecido.</p> <p><math display="block">\Phi = I_u * B = 597,7 * 5,52 = 3300 \text{ } \gamma / \text{cm}^2 \cdot \text{seg}</math></p> <p><u>Ítem c)</u></p> <p>Da Tabela é visto que o fator de construção/acumulação de água é muito maior do que o chumbo para a mesma espessura. Segue-se que há um maior acúmulo de radiação dispersa de baixa energia na água do que no chumbo. Isso porque, na água, a radiação de baixa energia se propaga com pouca absorção fotoelétrica. Devido ao seu alto valor de Z (número atômico), a absorção fotoelétrica é importante no chumbo a baixas energias e um acúmulo de radiação de baixa energia não é possível. Se a água é colocada antes do chumbo, a radiação de acumulação da água é absorvida à medida que passa pelo chumbo, e o fator de construção/acumulação geral através da blindagem é pequeno. No entanto, se o chumbo for colocado primeiro, o subsequente acúmulo de radiação na água alcançará o observador e o fator de construção/acumulação geral é maior.</p>

--	--

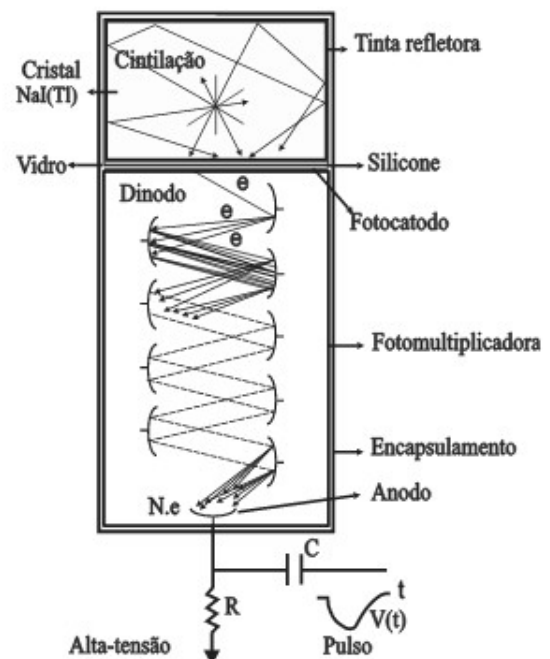
Questão	Resposta
<p><b>3</b></p> <p><b>(8 pontos)</b></p>	<p><u>Ítem a)</u></p>  <p>(nomear as regiões - 0,5 ponto)</p> <p>I - Região de recombinação  II - Região de ionização  III - Região proporcional  IV - Região de Geiger-Müller  V - Região de descarga contínua</p> <p><u>Ítem b)</u></p> <p>I - Região de recombinação (0.5 ponto)</p> <p>Quando a tensão é muito pequena, o campo elétrico no contador não é forte e elétrons e íons movem-se relativamente a baixas velocidades e portanto a taxa de recombinação é considerável. Conforme a tensão <math>V</math> aumenta, o campo aumenta a intensidade (mais forte) e as cargas movem mais rapidamente e a recombinação diminui até o ponto em que se torna zero. Então todas as cargas criadas pela radiação ionizante está sendo coletada (<math>V = VI</math>).</p> <p>II - Região de ionização (0.5 ponto)</p> <p>Na região II, as cargas coletadas permanecem constante apesar da mudança da tensão porque a taxa de</p>

<p style="text-align: center;"><b>3</b></p> <p><b>continuação</b></p>	<p>recombinação é zero e nenhuma nova carga está sendo produzida.</p> <p>III - Região proporcional (0.5 ponto)</p> <p>Nesta região, as cargas coletadas começam a aumentar porque os elétrons produzem por ionizações secundárias que resultam na multiplicação da carga. O campo elétrico é tão forte que, em certo volume do contador, os elétrons da primeira ionização adquirem energia suficiente entre as colisões para produzir ionizações adicionais. O fator de multiplicação do gás, ou seja a razão entre o total de ionização produzida dividida pela ionização primária, é para dada tensão, independente da ionização primária. A amplitude do pulso na saída é proporcional à energia dissipada no interior do contador, portanto a identificação de partículas (radiação) e medição da energia são possíveis.</p> <p>IV - Região de Geiger-Müller (0.5 ponto)</p> <p>Nesta região, o campo elétrico dentro do contador é tão grande que um único par elétron-íon gerado na câmara é suficiente para iniciar uma avalanche de pares de elétrons-íons. Esta avalanche produzirá um sinal forte com forma e amplitude independente da ionização primária e o tipo da partícula (radiação) ou seja um sinal que depende apenas da eletrônica do contador.</p> <p>V - Região de descarga contínua (0.5 ponto)</p> <p>Se a tensão aplicada for maior que <math>V_{IV}</math>, um único evento de ionização inicia uma contínua descarga no gás, e o equipamento não será mais considerado um detetor. Nenhum detetor a gás deve operar com uma tensão <math>V &gt; V_{IV}</math></p> <p>Os detetores a gás recebem o nome da região que eles operam. Nenhum contador opera da região I porque uma leve mudança na tensão causará uma mudança no sinal. (1,0 ponto)</p>
---	--

2)



ou



esquema 2 pontos) Ambos os esquemas serão aceitos.

Um dispositivo fundamental para a utilização dos detectores à cintilação é a fotomultiplicadora, que transforma os sinais luminosos produzidos pela radiação, usualmente muito fracos, em sinais elétricos com intensidade conveniente para serem processados em um sistema de contagem ou de espectroscopia. Os dois elementos principais são o fotocatodo e a estrutura de multiplicação de elétrons. A função do

fotocatodo, que é acoplado ao detector onde ocorre a cintilação (no caso, o cristal detector), é transformar em elétrons os sinais luminosos originados pela interação com a radiação. Como, normalmente, os fótons produzidos no cristal pela interação de uma partícula são apenas algumas centenas, o número de elétrons gerados pelo fotocatodo também é muito pequeno. Em consequência, o sinal gerado seria muito pequeno para ser convenientemente processado. O número de elétrons produzidos originalmente pelos fótons no fotocatodo é então multiplicado pelo conjunto de dinodos adequadamente arrançados. Cada dinodo funciona como um elemento de multiplicação: o elétron que sai do estágio anterior, é acelerado pelo dinodo seguinte, ganha energia, e ao colidir com a superfície do dinodo arranca um número maior de elétrons, que são atraídos e acelerados para o próximo estágio e assim sucessivamente.

Um conjunto típico de dinodos consegue a multiplicação por um fator de  $10^5$  a  $10^6$ , com a produção de  $10^7$  a  $10^9$  elétrons, carga suficiente para gerar um pulso de tensão ao ser coletada no anodo da fotomultiplicadora. O fenômeno de multiplicação de elétrons é também conhecido como emissão secundária. (explicação 2 pontos)

Questão	Resposta
<p>4</p> <p>(8 pontos)</p>	<p><u>Item 1)</u></p> <p>Existem 7 grandes etapas do processo de recarga do combustível, sendo quaisquer 5 citadas e descritas aceitas como respostas válidas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Atividades de desligamento antes da operação de recarga - Para reatores do tipo BWR (Boiling Water Reactors) essas atividades são: resfriamento, desinertização, secagem e desmontagem do vaso. Para reatores do tipo PWR (Pressurized Water Reactor), essas atividades compreendem: manutenção da contenção, limpeza da piscina de recarregamento, preparo de canal de transferência e remoção do isolamento da parte superior do vaso do reator.</li> <li>2. Retirada de combustível do núcleo - retirada dos elementos combustíveis propriamente dita.</li> <li>3. Inspeção de combustível (<i>sipping</i>) - Todos os elementos combustíveis que retornarão ao núcleo devem ser inspecionados com relação a vazamentos (<i>sipping</i>). Essa inspeção pode ser realizada ao mesmo tempo que a retirada de combustível.</li> <li>4. Manutenção em equipamentos internos e externos ao vaso de pressão - Essas atividades variam bastante conforme a operação de recarga, planta e ciclo considerados.</li> <li>5. (Re)carga de combustível e fechamento do vaso de pressão - Após inspeção e manutenção, os elementos combustíveis são reposicionados no núcleo e o vaso é fechado.</li> <li>6. Inspeção de equipamento e reparos (manutenção) antes da partida - manutenção e testes em equipamentos como bomba de resfriamento do reator, turbina principal, manutenção do gerador de vapor e reconexão de instrumentação são exemplos de atividades desta etapa e são executadas em toda recarga.</li> <li>7. Testes de partida - Testes exigidos antes que o reator atinja 100% de potência. Exemplos: aquecimento do refrigerante do reator, criticalidade do reator, turbo-gerador on-line, e demais testes para verificação de parâmetros nucleares e termo-hidráulicos em vários níveis</li> </ol>

de potência.

Item 2)

Em reatores com água leve, apesar de apenas uma fração do núcleo ser trocada em cada recarga, o núcleo inteiro é descarregado por 3 motivos:

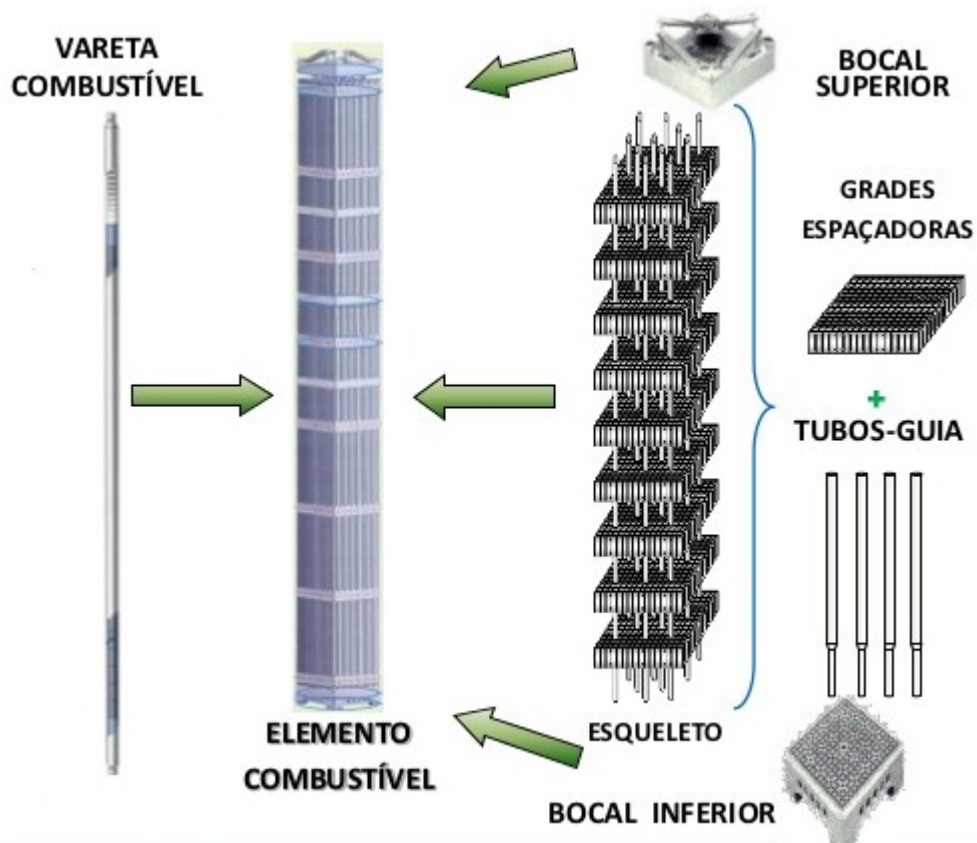
- a) todos os elementos devem ser inspecionados para verificar possíveis vazamentos
- b) manutenção do vaso de pressão do reator (inspeção, reparo, substituição de internos)
- c) os requisitos de segurança são bem diferentes na presença ou ausência de combustível no vaso do reator.

Questão	Resposta
<b>5</b>  <b>(8 pontos)</b>	<p><u>Item 1)</u></p> <p>Do início do gráfico até o ponto A (região I), temos a região de convecção monofásica. Há presença de um pouco de vapor superaquecido e a troca de calor ocorre por convecção natural.</p> <p>Na região marcada pela letra B (região II), temos a região de ebulição nucleada ou <i>nucleate boiling</i>. Há o início de formação de bolhas que colapsam ao atingir a superfície de líquido e há um ligeiro aumento da transferência de calor.</p>

	<p>Com o rápido aumento do número de bolhas formadas, tem-se o início do regime de ebulição nucleada.</p> <p>Na região entre os pontos <i>C</i> e <i>D</i> (região III), temos um filme de ebulição parcial, com a coalescência das bolhas próximo à superfície de aquecimento e o vapor que cobre a superfície atua como um isolante térmico.</p> <p>Na região entre os pontos <i>D</i> e <i>E</i> (região IV) temos uma camada (filme) de vapor sobre a superfície de aquecimento. <i>Film boiling</i></p> <p>Na região a partir do pontos <i>E</i> temos a transferência de calor por radiação e pelo filme de vapor. <i>Film boiling</i></p> <p><u>Item 2)</u></p> <p>O fluxo crítico de calor ocorre no ponto <i>c</i>. Também conhecido como ponto de burnout.</p> <p><u>Item 3)</u></p> <p>A vantagem é a otimização da transferência de calor, com aproveitamento da maior turbulência possível. É a fase de maior eficiência de troca térmica.</p> <p>A desvantagem é operar o reator em um ponto muito próximo da formação do filme de vapor sobre a superfície de aquecimento, que atua como um isolante térmico, prejudicando a troca térmica, além da grande perda de carga associada a este mecanismo de transferência de calor.</p>
--	--

Questão	Resposta
<p><b>6</b></p> <p><b>(8 pontos)</b></p>	<p><u>Ítem 1)</u></p> <p>O elemento combustível (ou conjunto combustível) é um arranjo que inclui várias varetas combustíveis montadas em um único elemento. No caso de reatores PWR os elementos combustíveis podem receber em sua composição venenos queimáveis em algumas posições ao invés de varetas combustíveis ou ainda precisar de mais furos para passagem do refrigerante de forma a satisfazer as limitações da distribuição de potência. Algumas posições das varetas combustíveis devem ser deixadas para serem preenchidas por barras de controle. Várias configurações são comumente encontradas nos arranjos como 15x15, 17x17 e 18x18. Placas ou grades espaçadoras são instaladas para suportar as varetas. Possuem uma placa suporte superior e</p>

inferior que serve como um bocal inferior. Ao longo do comprimento do elemento combustível, várias grades espaçadoras são utilizadas para restringir o movimento das varetas combustíveis e evitar o abaulamento. O núcleo de um PWR típico de potência 1100 Mwe consiste de 180 a 190 elementos (conjuntos) combustíveis. (2 pontos)



Esquemas similares serão considerados corretos. (2 pontos)

### Ítem 2a)

**Inchamento do combustível:** a pastilha combustível incha principalmente devido a geração de produtos de fissão e ao bombardeamento por nêutrons. Em Reatores do tipo água leve, o inchamento do combustível não é um problema grande porque os nêutrons rápidos, que causam a maior parte do inchamento, não é dominante. Ao projetar as pastilhas combustíveis e o revestimento com margens adequadas, o inchamento do combustível não se torna um fator de preocupação. (1 ponto)

**Densificação do combustível:** Sob certas circunstâncias, a densidade da pastilha de  $\text{UO}_2$  aumenta durante os primeiros meses de operação. A densificação resulta na redução do diâmetro e comprimento da pastilha, com subsequente formação de gaps (vazios) na pilha de pastilhas. A presença de vazios não é desejada devido à possibilidade do revestimento da vareta colapsar neste vazio. O mecanismo causador da densificação não é completamente

compreendida. Experimentos mostram que as pastilhas com uma grande fração de vazios com poros muito pequenos estão sujeitas a mais densificação que aquelas com uma pequena fração de vazios com poros grandes. As especificações atuais de pastilhas normalmente incluem um requisito de distribuição de tamanhos de poros que minimizam a densificação. A Westinghouse relatou que a densificação se torna completa aproximadamente a ~30000 MWd/t. Em geral, a densificação do combustível é mais problemática em BWRs que em PWRs devido ao tamanho do núcleo.(1 ponto)

Expansão/deformação térmica: Devido às taxas de aquecimento não-uniformes, as pastilhas não apenas expandem, como também deformam. Para prevenir que a pastilha toque a superfície interna do revestimento da vareta, é utilizado uma forma de copo ou prato para a pastilha. Esse projeto particular aparentemente resolveu esse problema.(1 ponto)

Interação pastilha/revestimento (PCI): Experiências com combustível de Reatores a água leve e CANDU mostraram que falhas do revestimento podem ocorrer após uma queima suficientemente alta como resultado de uma rampa de potência (i.e., um rápido aumento de potência). Esses defeitos do combustível são o resultado de uma tensão localizada combinada com reações químicas entre as pastilhas e o revestimento. A pastilha expande, tensiona o revestimento, e fratura; produtos de fissão são liberados através das fraturas, alguns deles corrosivos. Tensões sob essas circunstâncias podem causar fratura do revestimento do combustível com pouca ou nenhuma deformação plástica. Fratura por corrosão sob tensão (SCC) é o termo que descreve esse fenômeno de ataque químico de um metal sob tensão na atmosfera de um material corrosivo. Acredita-se que o produto de fissão iodo é uma das substâncias causadores do ataque ao revestimento. Dados de PCI disponíveis indicam que a dependência da PCI com a queima de combustível aparenta saturar depois de 15000 MWd/t. Projetos novos de combustível foram propostos para evitar, ou reduzir para níveis aceitáveis, os efeitos da PCI.(1 ponto)

Questão	Resposta
<p>7 (8 pontos)</p>	<p>Item a) Sensores <i>in-core</i> são localizados dentro de canais estreitos de resfriamento no núcleo do reator e são utilizados para a obtenção detalhada do fluxo de nêutrons, especialmente em relação à sua forma. Estes sensores podem ser posicionados em um lugar fixo no núcleo ou inseridos em um dispositivo móvel, seu tamanho típico é da ordem de 10 mm de diâmetro.</p> <p>Sensores <i>ex-core</i> são posicionados do lado externo do núcleo e são sensíveis a propriedades do fluxo de nêutrons integrado só núcleo inteiro. Estes detectores podem ser posicionados tanto interna quanto externamente ao vaso de pressão e serão normalmente posicionados em um ambiente menos severo em comparação com os sensores <i>in-core</i>. (3 pontos)</p> <p>Item b) A vantagem dos detectores a gás para reatores nucleares são: propriedades de discriminação de raios gama inerentes a este tipo de detector, larga faixa dinâmica de detecção e estabilidade a longo prazo, além de resistência a danos causados por radiação e versatilidade de modos operacionais. (5 pontos)</p>

Questão	Resposta
<p>8 (8 pontos)</p>	<p><u>Ítem a)</u></p> <p>Substituindo na equação fornecida:</p> $T_{\max} - T_m = \frac{q'}{2\pi} \left[ \frac{1}{2k_f} + \frac{1}{R_g h_g} + \frac{1}{k_c} \ln \left( \frac{R_{co}}{R_{ci}} \right) + \frac{1}{R_{co} k_o / \delta_o} + \frac{1}{R_{co} h} \right]$ <p>Substituir para somente condução</p> $T_{\max} - T_m = \frac{q'}{2\pi} \left[ \frac{1}{2k_f} + \frac{1}{R_g h_g} + \frac{1}{k_c} \ln \left( \frac{R_{co}}{R_{ci}} \right) + \frac{1}{R_{co} k_o / \delta_o} + \frac{1}{R_{co} h} \right]$ $1577^\circ\text{C} - 307,5^\circ\text{C} = \frac{q'}{2\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 3,011} + \frac{1}{0,277} \ln \left( \frac{4,178}{4,096} \right) + \frac{1}{18,69} \ln \left( \frac{4,75}{4,178} \right) \right]$ <p>Zero (não tem camada de oxidação)</p> $\frac{1}{R_{co} k_o / \delta_o} + \frac{1}{0,00475 \times 28400}$ $1269,5^\circ\text{C} = \frac{q'}{2\pi} [0,166 + 0,07156 + 0,006866 + 0 + 0,007413]$ $1269,5^\circ\text{C} = \frac{q'}{2\pi} [0,2518] \quad q' = 31673,03 \text{ W/m} \quad q' = 31,67 \text{ kW/m}$ <p>(4 pontos)</p>

Ítem b)

utilizar a fórmula fornecida considerando condução na pastilha apenas:

$$T_{max} - T_m = \frac{q'}{2\pi} \left[ \frac{1}{2kf} \right]$$

$$1577 - T_{ext}^{\circ}C = \frac{31673,03}{2\pi} \left[ \frac{1}{2 \times 3,011} \right]$$

$$T_{comb} = 739,91^{\circ}C \quad \text{ou} \quad T_{comb} = 704,84^{\circ}C \quad \text{utilizando } q' = 33 \text{ kW/m}$$

(2 pontos)

Incluir camada de oxidação

Ítem c)

$$1269,5^{\circ}C = \frac{q'}{2\pi} \left[ 0,166 + 0,07156 + 0,006866 + \frac{1}{0,00475 \times 2 / 0,0004} + 0,007413 \right]$$

$$1269,5^{\circ}C = \frac{q'}{2\pi} \left[ 0,166 + 0,07156 + 0,006866 + 0,0421 + 0,007413 \right]$$

$$1269,5^{\circ}C = \frac{q'}{2\pi} [0,2939] \quad q' = 27139,71 \text{ W/m} \quad q' = 27,14 \text{ kW/m}$$

(2 pontos)

Questão	Resposta
9 (8 pontos)	<p>a) Quando o reator é rapidamente comprimido para um terço do seu volume original, o raio é reduzido em 9 vezes e o buckling aumenta 9 vezes, o que diminui o k-efetivo. O fator de multiplicação efetivo (k-efetivo) é inversamente proporcional ao quadrado do valor do buckling, que por sua vez é inversamente proporcional ao quadrado do valor do raio do reator. (2 pontos)</p> <p>b) Quando o reator é imerso em uma grande piscina de água, ocorre uma diminuição da fuga de nêutrons pelo efeito de blindagem na água, o que aumenta o k-efetivo. (2 pontos)</p> <p>c) Quando uma fonte de nêutrons é colocada ao lado do reator, não há alteração no fator de multiplicação efetivo, pois este afeta o número de nêutrons e não o contrário. (2 pontos)</p> <p>d) Quando o reator é deixado em operação por um longo período de tempo, ocorre a queima de combustível e diminuição do k-efetivo em decorrência da diminuição da quantidade de material para gerar mais nêutrons. (2 pontos)</p>

Questão	Resposta				
<div>10</div> <div>(8 pontos)</div>	<div><div><b>Item a)</b></div><div><b>Substituir nas fórmulas:</b></div><div><math display="block">\Phi = \frac{S(t/s)*fi}{4\pi*r^2} = \frac{10^{-3}*3,7*10^{10}*0,851}{4\pi*(100)^2} = 2,5 \times 10^2 \text{ fótons } \gamma / \text{cm}^2 . \text{seg}</math><div>(0,5 ponto)</div></div><div><math display="block">\Phi = \frac{S(t/s)*fi}{4\pi*r^2} = \frac{10^{-3}*3,7*10^{10}*0,851}{4\pi*(400)^2} = 15,66 \text{ fótons } \gamma / \text{cm}^2 . \text{seg}</math><div>(0,5 ponto)</div></div><div><b>Item b)</b></div><div>Verificando o esquema de decaimento fornecido para o <sup>137</sup>Cs verifica-se que a emissão gama ocorre em uma proporção de 85,1% para emissão gama com energia de 0,6616 MeV.</div><div><math display="block">\Phi = \frac{S(t/s)*fi}{4\pi*r^2} = \frac{16*3,7*10^{10}*0,851}{4\pi*(250)^2} = 6,41 \times 10^5 \text{ fótons } \gamma / \text{cm}^2 . \text{seg} \quad (2 \text{ pontos})</math></div><div><math display="block">\dot{X} = 0,0659 * \Phi_{\gamma} * E * (\mu_a / \rho)^{air} = 0,0659 * 6,41 \times 10^5 * 0,661 * 0,0296 = 826,49 [mR/hr]</math><div>(1.0 ponto)</div></div><div><math display="block">\dot{X}_{(x)} = \dot{X}_{(0)} * e^{-\mu \cdot x} \qquad 1 = 826,49 * e^{-1,2419 * x} \qquad \ln(1,21 * 10^{-3}) = \ln(e^{-1,2419 x})</math></div><div><math display="block">-6,717 = -1,2419 x \qquad x = 5,41 \text{ cm} \quad (1.0 \text{ ponto})</math></div><div><b>Item c)</b></div><div><math display="block">\dot{X} = 0,0659 * \Phi_{\gamma} * E * (\mu_a / \rho)^{air} * \textit{Buildup factor} \quad (1,0 \text{ ponto})</math></div><div><math display="block">\dot{X} = 0,0659 * \Phi_{\gamma} * E * (\mu_a / \rho)^{air} * \textit{Buildup factor} = 0,0659 * 6,41 \times 10^5 * 0,661 * 0,0296 = 826,49</math></div><div>interpolar na tabela para obter o buildup factor</div><div><math display="block">\mu * x = 1,2419 * 5,41 = 6,718 \qquad (1,0 \text{ ponto})</math></div><div><table><tr><td><math>\mu x</math></td><td>0,5MeV</td><td>1 MeV</td><td><math>x = 1,85744</math></td></tr></table></div></div>	$\mu x$	0,5MeV	1 MeV	$x = 1,85744$
$\mu x$	0,5MeV	1 MeV	$x = 1,85744$		

6,0	1,8	2,66	
6,718	x	y	y = 2,82514
7,0	1,88	2,89	

interpolar nas energias

0,5 MeV ---	1,85744	w = 2,169
0,661 MeV -	w	
1 MeV -----	2,82514	

$\dot{X} = 0,0659 * 6,41 \times 10^5 * 0,661 * 0,0296 * 2,169 = 1792,66 [mR/hr]$   
 (1,0 ponto)