GABARITO FINAL

GABARITO DAS QUESTÕES OBJETIVAS ANO 2023

Área de Certificação: Mina e Usina de Beneficiamento Físico e Químico de Urânio e/ou Tório:

QUESTÃO 1 (Valor: 1,0 ponto):

Referência: Norma CNEN NE 1.04, Norma CNEN NE 1.13

Gabarito da questão 1: LETRA C

QUESTÃO 2 (Valor: 2,0 pontos):

Referência: Norma CNEN NN 8.01

Gabarito da questão 2: LETRA D

GABARITO DAS QUESTÕES DISCURSIVAS ANO 2023

Área de Certificação: Mina e Usina de Beneficiamento Físico e Químico de Urânio e/ou Tório:

QUESTÃO 1 (Valor: 2,0 pontos):

Referência: GOMIDE, R. Estequiometria industrial. 2 ed. São Paulo, 1984

QUESTÃO 1(a) (Valor: 1,0 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

Para 1 g de ^{238}U temos:
$A = (0,693/ T_{1/2}) \times N \times AI$
$N = 6,023 \times 10^{23}/238$
AI = 0,992425 (Abundância Isotópica)
$T_{1/2}$ $^{238}U = 4,5 \times 10^{9}$ anos $= 1,42 \times 10^{17}$ s
A = 12.210 Bq
$U_3O_8/1,179 = U$ (conversão de óxido para elemento)
Então: 1 g de U_3O_8 corresponde a 10.356 Bq

Para 1 g de ^{232}Th temos:
$A = (0,693/ T_{1/2}) \times N \times AI$
$N = 6,023 \times 10^{23}/232$
AI = 1 (Abundância Isotópica)
$T_{1/2}$ $^{232}Th = 1,4 \times 10^{10}$ anos $= 4,42 \times 10^{17}$s
A = 4.055 Bq
$ThO_2/1,138 = Th$ (conversão de óxido para elemento)
Então: 1 g de ThO_2 corresponde a 3.563 Bq

Como no minério há o equilíbrio secular das séries do ^{238}U e do ^{232}Th

- No ácido fosfórico contendo urânio:

A atividade de ^{238}U é igual as atividades de ^{234}Th, ^{234}U, ^{230}Th e do ^{232}Th é igual ao ^{228}Th

- No ácido fosfórico sem urânio:

As atividades do ^{238}U e ^{234}U é igual a zero pois a espécie urânio foi extraída do ácido fosfórico que alimenta a unidade de extração por solventes. As atividades ^{234}Th e ^{230}Th continuam iguais ao do ^{238}U, pois a extração é seletiva para urânio. A atividade do ^{232}Th continua ser igual ao do ^{228}Th.

- No extrato orgânico:

Ficam contidos somente os isótopos de urânio, ^{238}U e ^{234}U, e os mesmos possuem as concentrações de atividade.

Materiais	^{238}U (Bq/L)	^{234}Th (Bq/L)	^{234}U (Bq/L)	^{230}Th (Bq/L)	^{232}Th (Bq/L)	^{228}Th (Bq/L)
Ácido fosfórico alimentado	20.712	20.712	20.712	20.712	2.850	2.850
Ácido fosfórico isento de urânio	0	20.712	0	20.712	2.850	2.850
Extrato orgânico de urânio	207.120	0	207.120	0	0	0

Pontuação da Questão 1(a)

- 100 % de acerto: 1,0

- Acerto de 100 % das atividades do Ácido fosfórico alimentado: **(0,4 ponto)**

- Acerto de 100 % das atividades do Ácido fosfórico isento de urânio: **(0,3 ponto)**

- Acerto de 100 % das atividades do Extrato orgânico de urânio: **(0,3 ponto)**

- Acerto individual de quaisquer das atividades da tabela: **(0,05 ponto)**

Obs: Serão consideradas respostas corretas variações dos resultados com aproximações de até 5% do valor esperado.

QUESTÃO 1(b) (Valor: 1,0 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

Equação de crescimento da atividade do ^{228}Ra

$A^{228}Ra = A_0\ ^{232}Th\ (1 - e^{-\lambda x t})$

$A_0\ ^{232}Th$ = atividade de ^{232}Th no tempo zero = 2.850 Bq/L

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

$T_{1/2}$ (^{228}Ra) = 5,7 anos

t = 694 dias = 1,9 anos

A ^{228}Ra = atividade de ^{228}Ra após 1,9 anos = 588 Bq/L

Equação de decaimento da atividade

$A = A_0 \times e^{-\lambda x t}$

^{228}Ra: No tempo zero a atividade do ^{228}Ra é zero. No entanto, em ambos os ácidos (alimentado e isento de urânio) ocorrem o crescimento do ^{228}Ra em função da permanência do pai ^{232}Th que tem meia vida de $1{,}4 \times 10^{10}$ anos.

^{234}Th: No ácido alimentado a atividade do ^{234}Th se mantem devido a presença do pai ^{238}U, que tem meia vida de $4{,}5 \times 10^{9}$ anos. No ácido fosfórico sem urânio ocorre somente o decaimento e o valor de atividade tende a zero.

^{230}Th: Se mantem praticamente igual em ambos os ácidos (alimentado e isento de urânio) devido a sua meia vida ser de 8×10^{4} anos.

Espécies	Concentração de atividade (Bq/L)	
	Ácido fosfórico alimentado	Ácido fosfórico isento de urânio
^{228}Ra	588	588
^{234}Th	20.712	0
^{230}Th	20.712	20.712

Pontuação da Questão 1(b)

- 100 % de acerto: 1,0
- Acerto de 100 % das atividades do Ácido fosfórico alimentado: **(0,5 ponto)**
- Acerto de 100 % das atividades do Ácido fosfórico isento de urânio: **(0,5 ponto)**
- Acerto individual de quaisquer das atividades da tabela: **(0,15 ponto)**

Obs: Serão consideradas respostas corretas variações dos resultados com aproximações de até 5% do valor esperado.

QUESTÃO 2 (Valor: 1,4 ponto):

Referência: Norma CNEN NN 3.01, CNEN PR-3.01/003, ICRP-Publicação nº78 e CNEN PR-3.01/004

QUESTÃO 2(a) (Valor: 0,3 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

A concentração de U-238 gerada no ar durante a atividade é obtida pela razão entre a o valor massa de U-238 retida no filtro usado na amostragem e o volume de ar amostrado durante as 5h de monitoração da atividade.

$$C\ (g/m^3) = m_{U\text{-}238} / V_{AR} = 0{,}1g / (4m^3/h\ .\ 5h) = 0{,}005\ g/m^3$$

Obs: Será atribuído valor integral da questão somente ao candidato que chegar ao valor e unidade corretos. Será descontado 0,1 ponto a cada caso de erro de unidade ou de conta de forma cumulativa.

QUESTÃO 2(b) (Valor: 0,7 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

O Cálculo da Dose devido a incorporação via inalação de U^{238} de é dada por:

$$D = I\ .\ e_{(50)} = (A_e\ .\ C\ .\ T_R\ .\ t)\ .\ e_{(50)}$$

$$D = (1{,}2\ .\ 10^4\ Bq/g\ .\ 0{,}005\ g/m^3\ .\ 1{,}2\ m^3/h\ .\ (5h/d\ .20d))\ .\ 5{,}7.10^{-6}\ Sv/Bq$$

$$D = 7{,}2.10^3\ Bq\ .\ 5{,}7.10^{-6}\ Sv/Bq = 4{,}1\ .\ 10^{-2}\ Sv^{(2)}\ ou\ 41\ mSv$$

Obs: Será atribuído valor integral da questão somente ao candidato que chegar ao valor e unidade corretos. Será descontado 0,1 ponto a cada caso de erro de unidade e de conta de forma cumulativa.

QUESTÃO 2(c) (Valor: 0,4 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

De acordo com a PR 004, da Norma CNEN NN 3.01, há dois níveis de referência mensais para a dose efetiva de IOE, o nível de registro e o nível de investigação.

Comparando a dose mensal do IOE de 41 mSv com o nível de registro mensal para dose efetiva, de 0,1 mSv, conclui-se que a dose do IOE deve ser registrada pelo SPR. **(0,2 ponto)**

Comparando a dose mensal do IOE de 41 mSv com o nível de investigação mensal para dose efetiva, de 1 mSv, conclui-se que o SPR deve efetuar uma investigação para avaliar as causas e conseqüências dos fatos que levaram à detecção deste nível de dose, e propor as ações corretivas necessárias. **(0,2 ponto)**

QUESTÃO 3 (Valor: 0,7 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

O resultado em termos de Atividade Superficial Alfa, em Bq/cm^2, registrada por cada sensor é dada pela equação:

$$As = \frac{Tc_{sensor} - Tc_{BG}}{\varepsilon_{\alpha} \cdot S_{sensor}}$$

Sensor Mão direita: $As = \frac{45cps - 10cps}{0,35 \cdot 100cm^2} = 1,0\ Bq/cm^2$ – contaminada **(0,15 ponto)**

Sensor Mão esquerda: $As = \frac{26cps - 10cps}{0,35 \cdot 100cm^2} = 0,4\ Bq/cm^2$ – contaminada **(0,15 ponto)**

Sensor Pé direito: $As = \frac{40cps - 10cps}{0,35 \cdot 200cm^2} = 0,4\ Bq/cm^2$ – contaminado **(0,15 ponto)**

Sensor Pé esquerdo: $As = \frac{26cps - 10cps}{0,35 \cdot 200cm^2} = 0,2\ Bq/cm^2$ - não contaminado **(0,15 ponto)**

Conclusão: Terão que ser descontaminadas as duas mãos e o pé direito, pois estão acima do limite de $0,3\ Bq/cm^2$, para saída para área livre. **(0,10 ponto)**

QUESTÃO 4 (Valor: 0,4 ponto):

RESPOSTA CORRETA:

Considerando as definições apresentadas na Norma CNEN NN 3.01: (i) Os níveis de referência são estabelecidos ou exigidos pelo órgão regulador, para que ações sejam tomadas pelo titular quando estes níveis são alcançados ou previstos de serem excedidos. (ii) O nível operacional é estabelecido pelo Titular, como uma ferramenta no processo da otimização da radioproteção, levando em conta a experiência operacional e usando como base os níveis de referência já estabelecidos.
(Cada subitem vale 0,2 ponto)

Definições da Norma CNEN NN 3.01

Níveis operacionais – níveis de dose, ou grandeza a ela relacionada, estabelecidos pelo titular, baseados nos níveis de referência e na aplicação de processos de otimização.

Níveis de referência – níveis de dose, ou grandeza a ela relacionada, estabelecidos ou aprovados pela CNEN, com a finalidade de determinar ações a serem desenvolvidas quando esses níveis forem alcançados ou previstos de serem excedidos. Esses níveis incluem os níveis de registro, níveis de investigação, níveis de ação e níveis de intervenção.

QUESTÃO 5 (Valor: 1,0 ponto):

Referência: Norma CNEN NN 3.01, IAEA - Safety Series 77, IAEA - Safety Series 90,

RESPOSTA CORRETA:

Os 3 princípios da radioproteção relevantes para o controle das descargas radioativas de uma instalação de mineração e beneficiamento de urânio são os princípios da Justificação, otimização e limitação da dose.

Justificação: i) Para que uma instalação de mineração e beneficiamento de urânio seja autorizada, é necessário demonstrar que a introdução dessa prática produzirá um benefício líquido positivo (ou seja, os benefícios esperados para os indivíduos e para a sociedade da prática superam os danos, incluindo o prejuízo da radiação). ii) Qualquer decisão sobre justificação deve sempre envolver a consideração das doses de radiação esperadas a serem incorridas ou evitadas ou reduzidas, de acordo com as circunstâncias. A dose de radiação para o público é apenas um dos fatores envolvidos no processo de justificação. Outros fatores, além das considerações de proteção contra radiação, precisarão ser considerados para determinar se uma prática é justificada. iii) A justificação aplica-se à instalação como um todo e não a aspectos individuais da instalação, como as descargas, que só podem ser autorizadas ou dispensadas da exigência de autorização se a instalação no seu todo já for considerada justificada. (**Cada subitem vale 0,1 ponto**)

Otimização da proteção: i) O princípio de otimização da proteção e segurança deve ser aplicado ao definir os limites da descarga. ii) As medidas de proteção e segurança devem fornecer o mais alto nível de segurança que pode ser racionalmente alcançado ao longo da vida útil da instalação sem limitar indevidamente a operação da instalação. iii) A otimização da proteção e segurança envolve o balanceamento de todos os custos, não apenas financeiros, associados à obtenção de um determinado nível de proteção e segurança, contra o benefício em termos de redução de dose.
(Cada subitem vale 0,1 ponto)

Aplicação dos limites de dose: i) No caso de uma mineração e beneficiamento de urânio, as exposições e os riscos estão sujeitos ao controle para garantir que os limites de dose especificados não sejam excedidos e que a otimização seja aplicada para se atingir o nível desejado de proteção e segurança. ii) Os limites de dose relevantes para o público em relação às descargas durante a operação normal são (a) uma dose efetiva de 1 mSv em um ano; (b) em circunstâncias especiais, um valor mais alto de dose efetiva em um único ano pode ser aplicado, desde que a dose efetiva média em cinco anos consecutivos não exceda 1 mSv por ano. iii) O limite de dose pode ser usado para definir limites de descarga para uma fonte específica.
(Os subitens i e iii valem 0,1 ponto e o subitem ii vale 0,2 ponto)

QUESTÃO 6 (Valor: 1,5 ponto):

Referência: Norma CNEN NN 3.01, IAEA - Safety Series 77, IAEA - Safety Series 90, IAEA - Safety Series 115, ICRP 82

RESPOSTA CORRETA:

Etapa 1) Identificação e seleção do termo fonte: Em termos gerais, o primeiro elemento da avaliação deve ser a caracterização da(s) fonte(s) de radiação no que se refere à exposição do público (e.g. composição e a quantidade de radionuclídeos relevantes, propriedades físicas (ou seja, gás, aerossol ou líquido) e propriedades químicas do material liberado, características da descarga, etc.). **(0,2 ponto)**

Etapa 2) Transporte do radionuclídeo no ambiente e Modelagem da irradiação direta: Após a etapa 1, deve ser considerada a dispersão no ambiente e a transferência dos radionuclídeos nos compartimentos ambientais relevantes. A irradiação gama direta proveniente da instalação pode contribuir para a exposição externa do público e deve ser incluída na avaliação. A avaliação do transporte dos radionuclídeos no meio ambiente até o indivíduo do público é geralmente feita através de modelos. O primeiro passo nessa avaliação é a identificação dos processos mais relevantes para a estimativa de dose através da elaboração de um modelo conceitual. As concentrações de atividade nos compartimentos ambientais (por exemplo, ar, sedimentos, solo, água, biota) resultantes das descargas postuladas de materiais radioativos devem ser estimadas por meio de modelos matemáticos. Duas abordagens possíveis para o uso de modelos e dados para a avaliação são (a) uma metodologia genérica e mais simples, que leva em consideração a diluição, dispersão e transferência de material radioativo para o ambiente com premissas cautelosas, e (b) uma abordagem específica e metodologia mais detalhada usando parcial ou totalmente dados específicos do local para estimar as concentrações de atividade em diferentes meios ambientais, com suposições mais realistas. **(0,2 ponto)**

Etapa 3) Identificação de vias de exposição: As doses devem ser calculadas para as várias vias de exposição consideradas relevantes para descargas no meio ambiente em cenários específicos. Possíveis vias de exposição para liberações de radionuclídeos para a atmosfera e águas superficiais em operação normal são, por exemplo, as seguintes: i) Inalação de material em suspensão (ou ressuspenso) numa pluma atmosférica (gases, vapores, aerossóis); ii) Exposição externa a radionuclídeos dispersos em uma pluma atmosférica; iii) Exposição externa a radionuclídeos depositados no solo e em superfícies; iv) ingestão de culturas produzidas no local; v) Ingestão de produtos alimentares de origem animal (leite, carne, ovos); vi) Ingestão de alimentos aquáticos (peixes de água doce ou salgada, crustáceos, moluscos); vii) Ingestão de água potável; viii) Exposição externa de radionuclídeos na água e sedimentos. A contribuição de uma via de exposição para a dose total depende dos radionuclídeos envolvidos, dos dados de hábitos, do tempo gasto no local e de outras características da população considerada. Portanto, algumas vias de exposição podem ser excluídas da avaliação com base em que as doses associadas a elas são avaliadas como inexistentes ou insignificantes. A decisão de excluir determinadas vias de exposição deve ser justificada. **(0,3 ponto)**

Etapa 4) Identificação da pessoa representativa ou grupo crítico para operação normal: A dose para a pessoa representativa (ou grupo crítico) deve ser calculada usando características selecionadas de um grupo de indivíduos representativos daqueles mais altamente expostos na população. Os dados de hábitos da pessoa representativa (ou grupo crítico) devem representar os hábitos típicos da população residente na região

onde está localizada a unidade ou no Estado como um todo. Os dados de hábitos usados em uma avaliação podem ser obtidos de estatísticas coletadas em nível nacional, regional ou internacional ou, quando possível, de pesquisas realizadas no local ou próximo ao local onde a instalação funcionará. Dados de hábitos incluem taxas de consumo de alimentos e água potável e taxas de inalação. Características importantes ao avaliar doses para a pessoa representativa (ou grupo crítico) são a localização presumida da pessoa representativa (ou grupo crítico) (por exemplo, sua distância e direção do ponto de liberação de radionuclídeos). Também é importante o local onde o representante (ou grupo crítico) obtém os alimentos, a fração dos alimentos consumidos de origem local ou regional, os tempos de ocupação em diferentes locais e as frações do tempo gasto ao ar livre e dentro de casa. O local onde a pessoa representativa mora pode ser baseado em uma pessoa real ou um grupo de pessoas, ou em uma pessoa postulada ou grupo de pessoas vivendo em um local selecionado usando suposições cautelosas. **(0,3 ponto)**

Etapa 5) Cálculo e avaliação da dose: As concentrações de atividade estimadas em vários compartimentos ambientais devem ser então combinadas com dados relevantes sobre hábitos e condições de vida (por exemplo, taxas de respiração, consumo de água, consumo de alimentos), com fatores de ocupação do tempo (por exemplo, o tempo gasto em um determinado local ou dentro ou fora edifícios) e com dados dosimétricos para calcular a dose efetiva individual para a pessoa representativa (ou grupo crítico). A dose efetiva individual para a pessoa representativa (ou grupo crítico) é a soma da dose efetiva comprometida devido a ingestão de radionuclídeos (ou seja, de exposição interna por ingestão e inalação) e a dose efetiva de exposição externa da exposição. **(0,2 ponto)**

Etapa 6) Comparação da dose estimada com a restrições de dose e o limite de dose: As doses estimadas devem ser comparadas com critérios relevantes de dose (restrição e limite) autorizados pela CNEN. A CNEN exige que uma dose efetiva anual de 1 mSv seja definida como limite para membros do público em situações de exposição planejada (antiga “Prática”). Em circunstâncias especiais, um valor mais alto em um único ano pode ser aplicado se a dose média durante cinco anos consecutivos não exceder 1 mSv. As restrições de dose devem ser selecionadas para ficarem dentro da faixa de 0,1 a <1 mSv em um ano. A CNEN adota como condição limitante do processo de otimização da proteção radiológica em uma instalação, o valor máximo de 0,3 mSv para a restrição da dose efetiva anual média para indivíduos do grupo crítico, referente à liberação de efluentes. **(0,3 ponto)**