

# FORMULÁRIO DE GABARITO DAS QUESTÕES DISCURSIVAS ANO 2022.

Área de Certificação: REATOR NUCLEAR DE PESQUISA E UNIDADES  
CRÍTICAS E SUBCRÍTICAS

Referência Utilizada: Norma CNEN NN 1.04

Questão 1: **(0,50 ponto)** A norma CNEN NN 1.04 em seu item 8.7 estabelece as Condições das Autorizações para Operação. Cite as três sanções às quais as autorizações para operação estão sujeitas:

- a) \_\_\_\_\_
- b) \_\_\_\_\_
- c) \_\_\_\_\_

## RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 1):

[0,2] a) **revogação** - por interesse público;

[0,2] b) **suspensão** - por risco de dano nuclear;

[0,1] c) **alteração ou emenda** - por superveniência de alterações na legislação vigente, inclusive nas normas da CNEN

**Referência Utilizada:** Normas 3.01/3.02

Questão 2: **(1,00 ponto)** Segundo a Norma CNEN NN 3.01 “Os titulares e os empregadores devem permitir aos inspetores da CNEN o acesso às suas instalações e registros, para fins de verificação do cumprimento dos requisitos desta Norma”.

Aponte quais os registros, referentes aos IOE, devem ser mantidos e apresentados aos inspetores quando devidamente solicitados

**RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 2):**

Norma 3.02

[0,25] Relatório de Monitoração individual e Avaliação de doses [Histórico de doses]

[0,25] Supervisão médica [ASO] devidamente assinado pelo médico do trabalho e com indicação de apto para o trabalho com radiação ionizante

[0,25] Relatório de treinamento [Certificado de treinamento]

[0,25] Livro de registro de entrada na área controlada

**Referência Utilizada:** Knoll, G.T. Radiation Detection and Measurements, Wiley, New York, 2000 e a própria figura.

Questão 3: **(0,80 ponto)** As figuras a seguir apresentam o display de um equipamento sensível a radiação gama e neutrônica submetido a um campo de radiação.



Considerando que o equipamento está devidamente calibrado e apresenta resposta adequada para sua medição responda:

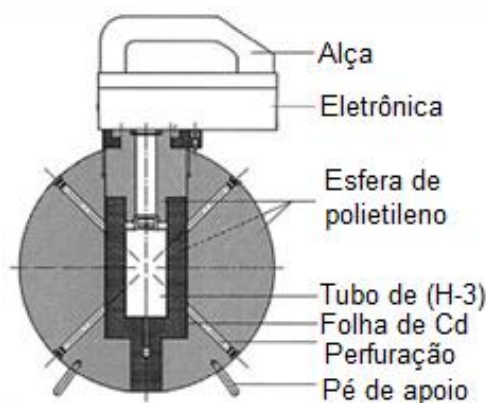
- (0,30) Qual a grandeza e a unidade de medida representadas por este equipamento?
- (0,50) Qual o valor de leitura?

**RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 3):**

- (0,30) a) Grandeza: Taxa de dose; unidade de medida:  $\mu\text{Sv/hr}$   
(0,50) b) 750  $\mu\text{Sv/hr}$

**Referência Utilizada:** Knoll, G.T. Radiation Detection and Measurements, Wiley, New York, 2000

Questão 4: **(0,90 ponto)** Alguns detectores de nêutrons possuem esferas de polietileno de alta densidade (PEAD) ao redor do elemento sensível que efetivamente faz a medição radiação incidente no detector. Um exemplo desse tipo de detector está ilustrado na figura abaixo:



Descreva qual a FUNÇÃO desta esfera de polietileno, a JUSTIFICATIVA da escolha deste material e a MOTIVAÇÃO DO FORMATO esférico.

#### **RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 4):**

[0,3] Função: Aumentar a sensibilidade do detector para nêutrons rápidos ao termalizar os nêutrons incidentes e torná-los adequados para detecção em detectores de nêutrons térmicos.

[0,3] Justificativa: materiais com alta densidade de componentes leves ( $^1\text{H}$ ) possuem maior eficiência para retardar os nêutrons.

[The inherently low detection efficiency for fast neutrons of any slow neutron detector can be somewhat improved by surrounding the detector with a few centimeters of hydrogen-containing moderating material (p.554 Knoll)]

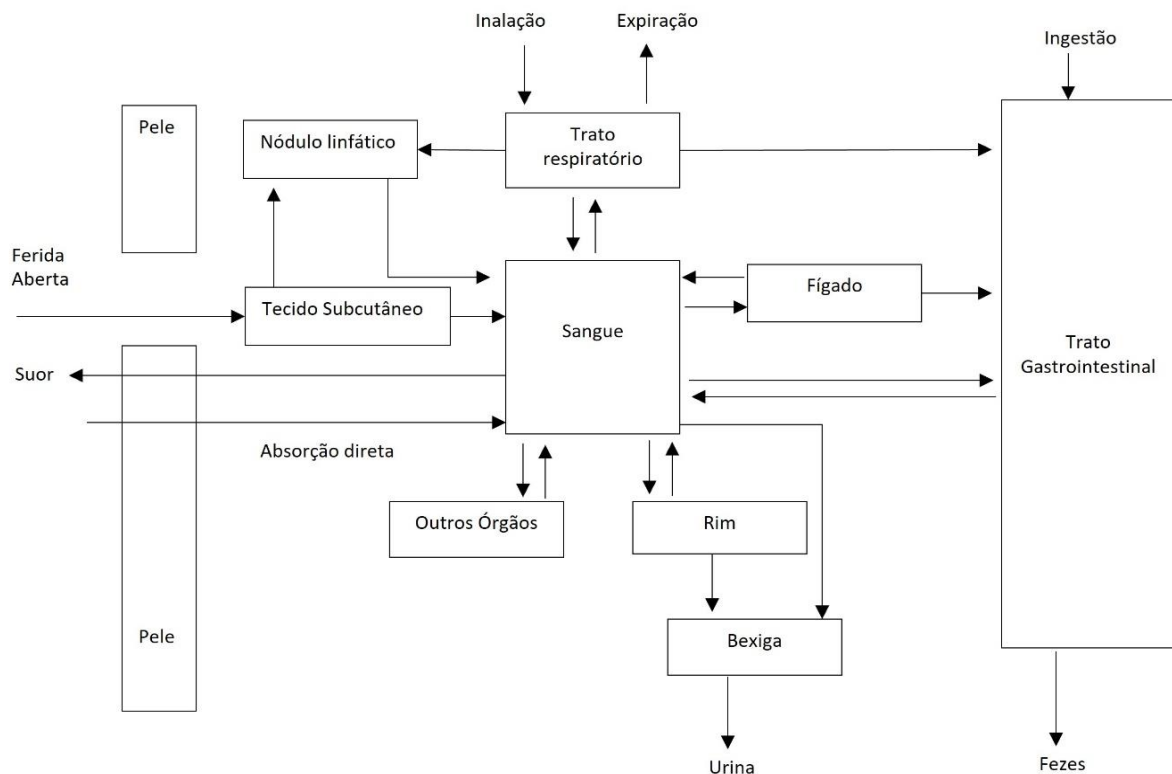
[As a result of all these factors, the efficiency of a moderated slow neutron detector when used with a monoenergetic fast neutron source will show a maximum at a specific moderator thickness. Assuming that the moderator is the usual choice of a hydrogenous material such as polyethylene or paraffin, we find that the optimum thickness will range from a few centimeters for keV neutrons up to several tens of centimeters for neutrons in the Me V energy range. (P.555 Knoll)]

[0,3] Formato: O formato esférico provê uma geometria com resposta razoavelmente não direcional.

[The spherical geometry provides for a reasonably nondirectional detector response (p.556 Knoll)]

**Referência Utilizada:** Cember, H. Introduction to Health Physics - Mc Graw-Hill, New York, 2000 e análise da figura fornecida

Questão 5: **(0,90 ponto)** Radionuclídeos podem ser incorporados e removidos do corpo humano por diversas rotas diferentes. Existem modelos específicos para o cálculo de dose a partir das rotas bioquímicas conhecidas. A figura abaixo, adaptada da ICRP 130 – Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1, apresenta um resumo das principais vias de incorporação, transferência e eliminação de radionuclídeos pelo corpo. Identifique quais as vias de INCORPORAÇÃO e de ELIMINAÇÃO.



**RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 5):**

**Vias de Incorporação**

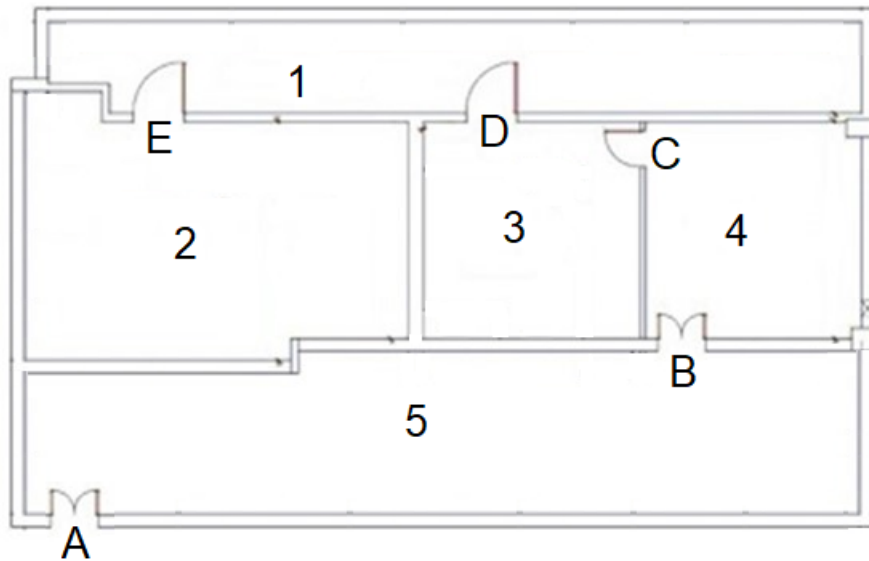
- (0,1) – Inalação
- (0,1) – Ingestão
- (0,1) – Ferida Aberta
- (0,1) – Absorção direta

**Vias de Eliminação**

- (0,1) – Expiração
- (0,1) – Fezes
- (0,1) – Urina
- (0,1) – Suor

**Referência Utilizada:** Norma CNEN 3.01

Questão 6: **(1,00 ponto)** Na sessão de Classificação de Áreas do Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) de uma determinada instalação consta a seguinte figura:



No documento de licenciamento dessa instalação, não foi informada a existência de diferença de pressão entre as salas.

No desenho estão descritas 5 salas diferentes, sendo elas numeradas de 1 a 5 conforme o desenho. Os únicos acessos existentes para estas salas são através das portas A, B, C, D e E.

Sabendo que:

- As salas 1, 2 e 5 foram classificadas como área controlada.
- A sala 3 foi classificada como área livre.
- A sala 4 foi classificada como área supervisionada.
- Há um ponto de controle na porta A, limitando o acesso à sala 5
- É inequívoca a classificação da sala 5, ou seja, esta está corretamente classificada como área controlada

Identifique quaisquer possíveis equívocos efetuados na classificação de área das salas 1, 2, 3 ou 4, justificando sua resposta.

**RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 6):**

As salas 3 e 4 não podem ser consideradas como áreas livres ou supervisionadas por estarem completamente contidas entre áreas controladas (salas 1 e 5), devendo, então, serem classificadas como áreas controladas também.

**Referência Utilizada:** Normas da CNEN, RPAS

Questão 7: **(1,00 ponto)** A norma CNEN NN 3.01, em seu item 5.3.8, estabelece a necessidade de submissão de um Plano de Proteção Radiológica contendo, dentre outros requisitos, a “*descrição das fontes de radiação e dos correspondentes sistemas de controle e segurança, com detalhamento das atividades envolvendo essas fontes*”.

Com relação à descrição das fontes de radiação, este Plano de Proteção Radiológica apresenta a lista de fontes descrita na tabela a seguir.

# Item	Descrição da fonte
01	Fonte de Európio
02	Fonte de $^{137}\text{Cs}$ (A = 33,7 MBq em 13/02/1973)
03	Fonte de $^{252}\text{Cf}$ em 05/09/2009
04	Fonte de $^{60}\text{Co}$ de 1,03 Ci
05	Placa de elemento combustível $\text{U}_3\text{O}_8$ enriquecido a 4,07 % de $^{235}\text{U}$

Algumas dessas fontes **não** estão adequadamente descritas.

Identifique quais os itens que **NÃO** contém informações suficientes para descrever a fonte e indique quais informações devem ser apresentadas para que a informação esteja correta.

**RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 7):**

# Item	Descrição da fonte	Informações necessárias
01	Fonte de Európio	a) Identificação do isótopo b) Atividade da fonte c) Data da medição da atividade
03	Fonte de $^{252}\text{Cf}$ calibrada em 05/09/1973	a) Atividade da fonte
04	Fonte de $^{60}\text{Co}$ de 1,03 Ci	a) Data da medição da atividade

**Referência Utilizada:** Norma CNEN 1.16

Questão 8: **(0,50 ponto)** A Norma CNEN NN 1.16 versa sobre Garantia Da Qualidade Para A Segurança De Usinas Nucleoelétricas E Outras Instalações.

Em seu item 4.6.3 – Controle de Itens e Serviços Adquiridos – a Norma estabelece os requisitos para se assegurar a conformidade aos documentos de aquisição.

Em seu item 4.7.1 – Identificação e Controle de Materiais, Peças e Componentes – a Norma estabelece os requisitos para a identificação dos itens relevantes para a qualidade.

Partindo da afirmação acima explique, de forma sucinta, a importância do controle de serviços adquiridos e sua relação com a identificação e controle dos equipamentos utilizados para a proteção radiológica de um reator de pesquisa

### **RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 8):**

Os temas a serem abordados são:

- a) Garantia de aquisição de equipamentos adequados à utilização proposta (tipo de radiação, faixa de energia de trabalho, condições de uso etc.)
- b) Identificação adequada dos equipamentos de posse do Serviço de Proteção Radiológica e em uso na instalação.
- c) Conferência no retorno dos itens enviados para serviço externo à instalação e, quando aplicável, correta identificação da calibração dos equipamentos em uso.



**Referência Utilizada:** Norma CNEN 3.01, Posição Regulatório 3.01:005, SAR das instalações

Questão 9: **(3,5 pontos)** O Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS) de um determinado reator de pesquisa do tipo piscina afirma que, em operação normal, a taxa de emissão de radionuclídeos através da piscina é constante durante toda a sua operação e está em equilíbrio com a taxa de exaustão do salão do reator. O RPAS, então, afirma que esta condição leva a uma concentração média de radionuclídeos no ar constante durante toda a sua operação. A tabela abaixo, extraída do RPAS, apresenta a concentração, no ar do confinamento, estimada para alguns radioisótopos de interesse.

Radionuclídeo	Concentração no ar do confinamento	Radionuclídeo	Concentração no ar do confinamento
$^3\text{H}$ (HTO)	3,94E+03 Bq/m <sup>3</sup>	$^{131}\text{I}$	1,34E-05 Bq/m <sup>3</sup>
$^{41}\text{Ar}$	2,26E+03 Bq/m <sup>3</sup>	$^{133}\text{Xe}$	1,17E+02 Bq/m <sup>3</sup>
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,27E+00 Bq/m <sup>3</sup>	$^{137}\text{Cs}$	9,92E-08 Bq/m <sup>3</sup>

O RPAS deve apresentar, também, a dose efetiva esperada para um IOE que trabalhe nesta instalação durante operação normal. Para o cálculo da estimativa de dose ocupacional é necessário utilizar fatores estabelecidos em guias e referências. Em casos que fatores ocupacionais não estejam estabelecidos é possível utilizar fatores definidos para membros do público.

Sabendo que a dose efetiva, E, é o somatório da dose efetiva devida à exposição externa e da dose efetiva comprometida durante qualquer período de tempo t, proveniente da incorporação de radionuclídeos e considerando um IOE que, durante 200 dias ao ano, trabalhe 6 horas por dia neste reator, e não esteja sujeito a quaisquer outras exposições ocupacionais, responda:

Dados:

Radionuclídeo	Fator de transferência $f_1$	$e(g)_{5\text{mm}}$ (Sv.Bq <sup>-1</sup> )	Radionuclídeo	Fator de conversão de dose (Sv.h <sup>-1</sup> / Bq.m <sup>-3</sup> )
$^3\text{H}$ (HTO)	1,00E+00	1,80E-11	$^{41}\text{Ar}$	4,80E-09
$^{131}\text{I}$	1,00E+00	1,10E-08	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	1,80E-11
$^{137}\text{Cs}$	1,00E+00	6,70E-09	$^{133}\text{Xe}$	7,60E-09

Dados (continuação):

Condição	Taxa de respiração
Adulto (repouso)	1,0 m <sup>3</sup> /h
Adulto (trabalho)	1,2 m <sup>3</sup> /h

HTO: água tritiada

- [1,0] Quais as principais vias de exposição para cada radionuclídeo?
- [2,0] Quais as doses efetivas esperadas, em mSv, individualizadas para cada radionuclídeo e a dose efetiva total?
- [0,5] Enquanto os radionuclídeos <sup>131</sup>I, <sup>137</sup>Cs, <sup>85m</sup>Kr e <sup>133</sup>Xe tem origem na irradiação do combustível os radionuclídeos <sup>3</sup>H e <sup>41</sup>Ar possuem uma origem distinta. Qual a origem destes dois radionuclídeos?

### RESPOSTA CORRETA DA QUESTÃO 9):

Padrão de resposta esperado:

a)

Radionuclídeo	Via de exposição
<sup>3</sup> H (HTO)	Dose interna por incorporação
<sup>41</sup> Ar	Dose externa por imersão em nuvem radioativa
<sup>85m</sup> Kr	Dose externa por imersão em nuvem radioativa
<sup>131</sup> I	Dose interna por incorporação
<sup>133</sup> Xe	Dose externa por imersão em nuvem radioativa
<sup>137</sup> Cs	Dose interna por incorporação

b)

A dose efetiva pode ser calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$E = H_p(10) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,ina} I_{j,ina} \quad (\text{PR005-3.01})$$

Gases nobres apresentam deposição irrisória no trato respiratório (*Class SR-0, insoluble and non-reactive: negligible deposition in the respiratory tract (e.g. <sup>41</sup>Ar, <sup>85</sup>Kr and <sup>133</sup>Xe)* – IAEA SRS n<sup>o</sup> 37 apud PR 3.01/005) e, por isso a sua dose é devido apenas a exposição externa (no caso entra como H<sub>p</sub>(10) no cálculo da dose efetiva com os devidos cálculos)

$$H_p(10)_j = f_j \times t \times C_j$$

$$t = 200d \times 6 \frac{h}{d} = 1200 h$$

$$H_p(10)_{^{41}\text{Ar}} = 4,80 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}}{\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}} \times 1200 h \times 2,26 \cdot 10^3 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{\text{mSv}}{\text{Sv}} = 1,30 \cdot 10^1 \text{ mSv}$$

$$H_p(10)_{85mKr} = 1,8 \cdot 10^{-11} \frac{Sv \cdot h^{-1}}{Bq \cdot m^{-3}} \times 1200 \text{ h} \times 4,27 \cdot 10^0 \frac{Bq}{m^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{mSv}{Sv} = 9,22 \cdot 10^{-5} \text{ mSv}$$

$$H_p(10)_{133Xe} = 7,60 \cdot 10^{-9} \frac{Sv \cdot h^{-1}}{Bq \cdot m^{-3}} \times 1200 \text{ h} \times 1,17 \cdot 10^2 \frac{Bq}{m^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{mSv}{Sv} = 1,07 \cdot 10^0 \text{ mSv}$$

$$\sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} = 0 \quad (\text{n\~{o} h\~{a} ingest\~{a}o})$$

$$\sum_j e(g)_{j,ina} I_{j,ina} \quad \text{v\~{a}lido para incorpora\~{c}\~{a}o ({}^3H, {}^{131}I, {}^{137}Cs)$$

$$I_{j,ina} = f_{1j} \times t \times TR \times C_j$$

TR = taxa de respira\~{c}\~{a}o = 1,2 m<sup>3</sup>/h

$$D_{j,ina} = e(g)_{j,ina} I_{j,ina} = e(g)_{j,ina} \times f_{1j} \times t \times TR \times C_j$$

$$D({}^3H,ina) = 1,80 \cdot 10^{-11} \frac{Sv}{Bq} \times 1 \times 1200 \text{ h} \times 1,2 \frac{m^3}{h} \times 3,94 \cdot 10^3 \frac{Bq}{m^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{mSv}{Sv} = 1,02 \cdot 10^{-1} \text{ mSv}$$

$$D({}^{131}I,ina) = 1,10 \cdot 10^{-8} \frac{Sv}{Bq} \times 1 \times 1200 \text{ h} \times 1,2 \frac{m^3}{h} \times 1,34 \cdot 10^{-5} \frac{Bq}{m^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{mSv}{Sv} = 2,12 \cdot 10^{-7} \text{ mSv}$$

$$D({}^{137}Cs,ina) = 6,70 \cdot 10^{-9} \frac{Sv}{Bq} \times 1 \times 1200 \text{ h} \times 1,2 \frac{m^3}{h} \times 9,92 \cdot 10^{-8} \frac{Bq}{m^3} \times 1 \cdot 10^3 \frac{mSv}{Sv} = 9,57 \cdot 10^{-10} \text{ mSv}$$

Radionucl\~{i}deo	Dose individual (mSv)
<sup>3</sup> H (HTO)	1,02E-01
<sup>41</sup> Ar	1,30E+01
<sup>85m</sup> Kr	9,22E-05
<sup>131</sup> I	2,12E-07
<sup>133</sup> Xe	1,07E+00
<sup>137</sup> Cs	9,57E-10
<b>Total</b>	<b>1,42E+01</b>

c) <sup>41</sup>Ar – ativa\~{c}\~{a}o do <sup>40</sup>Ar dissolvido na \~{a}gua da piscina

<sup>3</sup>H (HTO) – ativa\~{c}\~{a}o da \~{a}gua da piscina