

## CÁLCULO DAS BLINDAGENS DO PROJETO DE UM LABORATÓRIO INTEGRADO DE CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS NO IPEN

*Gustavo A. S. J. Barros, Linda V. E. Caldas*

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN – CNEN/SP, São Paulo, Brasil  
gustavaobarros@gmail.com, lcaldas@ipen.br

**Sumário:** Neste trabalho foram realizados os cálculos das blindagens das paredes das futuras salas dos cinco equipamentos de raios X do Laboratório de Calibração de Instrumentos do IPEN, que serão construídas num projeto de ampliação do laboratório. Os resultados obtidos com a aplicação de metodologia de cálculo de uma norma internacional mostraram que a maior espessura de blindagem (25,0cm de concreto ou 7,1mm de chumbo) será a da parede que receberá o feixe primário do equipamento com tensão de 320kV. A análise de custo/benefício indicou o concreto como melhor opção de material para a blindagem.

**Palavras-chave:** Blindagem, Radiação X, Calibração de Instrumentos.

### 1. INTRODUÇÃO

O Laboratório de Calibração de Instrumentos (LCI) faz parte da Gerência de Metrologia das Radiações, IPEN/CNEN, que oferece serviços de calibração de detectores de radiação utilizados em radioproteção, radiodiagnóstico e radioterapia, para o IPEN e também para instalações externas, públicas e particulares.

Para a otimização, a modernização e principalmente a segurança<sup>[1,2]</sup>, os laboratórios de calibração de instrumentos detectores de radiações X, alfa e beta, situados no prédio principal deverão ser transferidos para um local isolado em cima do laboratório externo, semi-enterrado, denominado Bunker.

### 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é calcular as barreiras de proteção dos laboratórios com radiação X e também determinar qual a melhor opção de material construtivo entre o concreto e o chumbo.

### 3. EQUIPAMENTOS DE RAIOS X A SEREM TRANSFERIDOS

Os seguintes equipamentos serão transferidos para os novos laboratórios com radiação X:

- Laboratório 1: um equipamento marca Rigaku Denki, modelo Geigreflex, Japão, com tubo Philips, modelo PW 2184100, Holanda, que opera de 20 a 60 kV; e um equipamento para diagnóstico, marca Medicor, modelo Neo Diagnomax, Hungria, que opera de 10 a 125 kV;
- Laboratório 2: um equipamento marca Siemens, modelo Stabilipan, Alemanha, que opera entre 150 e 220 kV; e um equipamento marca Pantak/Seifert, modelo ISOVOLT 160 HS, que opera entre 5 e 160 kV;
- Laboratório 3: um equipamento, marca Pantak, modelo HF, EUA, que opera entre 1 e 320 kV.

Para cada equipamento de raios X foram analisadas tanto as suas aplicações como as qualidades de radiação mais utilizadas nos diversos procedimentos de calibração; suas características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características de operação dos equipamentos de raios X

Laboratório de Raios X	Tensão Máxima do Equipamento de Raios X (kV)	Operação		Tempo Anual de Operação (min)	Distância de Calibração (m)	Área do Campo de Radiação (cm <sup>2</sup> )
		Tensão (kV)	Corrente (mA)			
1	60	35	30	1.350	2,0	706
	125	90	5	1.350	1,0	123
2	160	50	25	900	2,5	706
	160	40	20	900	2,5	706
	220	150	20	900	2,0	706
3	320	320	13	700	1,0	100
	320	200	13	1.000	1,0	100
	320	100	13	1.000	1,0	100

#### 4. RESULTADOS

Para os laboratórios de calibração de instrumentos com radiações alfa e beta, a alvenaria prevista é suficiente como barreira de proteção.

Nas figuras 1 e 2 são apresentados a disposição, dimensões e configurações dos 3 laboratórios de raios X.

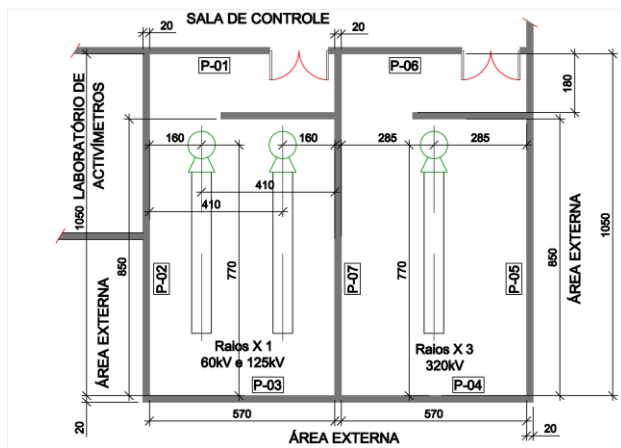


Fig. 1. Laboratórios de raios X 1 e 3

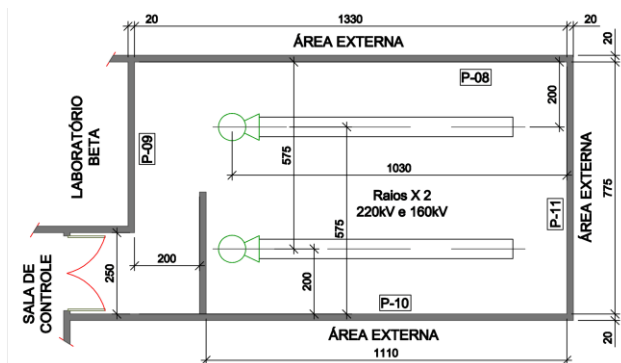


Fig. 2. Laboratório de raios X 2

As barreiras físicas dos laboratórios foram determinadas utilizando-se materiais construtivos disponíveis no mercado nacional e levando-se em conta as opções de custo mais baixo, obtendo-se assim a melhor relação custo/benefício possível.

Para o cálculo das blindagens foram utilizados os dados da norma NCRP 49<sup>[3]</sup>, apesar da existência de uma norma mais recente, NCRP 147<sup>[4]</sup>, mas que é indicada para equipamentos da área hospitalar com tensão máxima de 150kV, que não é o caso do LCI, que possui equipamentos de até 320kV.

Para o cálculo das blindagens dos laboratórios, levou-se em conta a operação de cada equipamento de radiação, computando-se o seu tempo de utilização anual, além da possibilidade de operação simultânea de equipamentos em salas contíguas (especialmente no caso da parede P-07).

A norma NCRP 49 (1976) trata dos requisitos e da metodologia para o cálculo de barreiras protetoras para salas com a emissão de radiação para fins médicos.

Basicamente, a metodologia apresentada neste trabalho consiste em se calcular a espessura, em chumbo ou em concreto, de barreiras protetoras contra a radiação

primária e/ou secundária (espalhada pelas paredes, piso e teto, e radiação de fuga) de radiação X ou gama. Esta metodologia prevê a proteção por uma barreira primária (radiação devida ao feixe principal) para reduzi-la a níveis aceitáveis de radiação a uma certa distância ( $d_p$ ) da fonte, e por uma barreira secundária (radiação de fuga e de espalhamento), que manterá níveis aceitáveis de radiação a uma certa distância ( $d_s$ ) da fonte.

A metodologia da norma NCRP 49 utiliza ainda o fator de uso, que se relaciona com a direção do feixe primário (que no caso da calibração de instrumentos sempre será 1, ou seja, 100% do tempo em uma direção), e do fator de ocupação, que se relaciona com o tipo de ocupação da vizinhança às salas de raios X e gama.

O quociente de kerma, devido à radiação do feixe primário, é dado pela norma NCRP 49 (1976) como:

$$K_{ux} = \frac{P (d_{prim})^2}{W U T} \quad [\text{mGy} \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}]$$

sendo que:

- **P** é o limite autorizado derivado semanal para pontos externos à barreira primária. CNEN NN 3.01 (2005):

Trabalhadores:  $P = 20 \text{ mSv/ano} = 0,4 \text{ mSv/sem}$

Público  $P = 1 \text{ mSv/ano} = 0,02 \text{ mSv/sem}$

-  $d_{prim}$  é a distância, em metros, entre o alvo e o ponto a ser protegido;

- **W** é a carga de trabalho em (mA x min/sem);

- **U** é o fator de uso, sendo que neste caso é 100% na mesma direção;  $U = 1$ ;

- **T** é o fator de ocupação para área externa;  $T = 1/16 = 0,0625$ .

A maior espessura de blindagem para o feixe primário deverá ser na parede frontal ao feixe de raios X do Laboratório 3, devido à maior tensão de trabalho (320kV). Pelos cálculos efetuados, chegou-se a 7,1mm de chumbo ou 25,0cm de concreto, que pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Dimensionamento final das barreiras primárias.

Raios X 1		Raios X 2		Raios X 3	
Equipamentos 60 e 125 (kV)		Equipamentos 160 e 220 (kV)		Equipamento 320 (kV)	
Parede P-03 Blindagem		Parede P-11 Blindagem		Parede P-04 Blindagem	
Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)
1,0	9,8	2,4	15,2	7,1	25,0

O quociente de kerma, devido à radiação espalhada, é dado pela norma NCRP 49 (1976) como:

$$K_{ux} = \frac{P (d_{sca})^2 (d_{sec})^2 400}{a W T F} \quad [\text{mGy.mA}^{-1}.\text{min}^{-1}]$$

sendo que:

- **P** é o limite autorizado derivado semanal para pontos externos à barreira primária;
- **d<sub>sca</sub>** é a distância, em metros, entre o alvo e a fonte espalhadora;
- **d<sub>sec</sub>** é a distância, em metros, entre a superfície espalhadora e o ponto a ser protegido;
- **a** é a razão entre a intensidade da radiação espalhada a 1m do meio espalhador e a intensidade da radiação primária no isocentro; depende da energia do feixe e do ângulo de espalhamento. Foi utilizada a pior condição na Tabela B-2 – do apêndice B da norma NCRP 49;
- **W** é a carga de trabalho em (mA x min/ sem);
- **T** é o fator de ocupação;
- **F** é o tamanho do campo no anteparo em cm<sup>2</sup>.

O quociente de kerma, devido à radiação de fuga, é dado pela norma NCRP 49 (1976) como:

$$K_{ux} = \frac{P (d_{sec})^2 600 I}{W T} \quad [\text{mGy.mA}^{-1}.\text{min}^{-1}]$$

sendo que:

- **P** é o limite autorizado derivado semanal para pontos externos à barreira primária;
- **d<sub>sec</sub>** é a distância em metros, entre a superfície espalhadora e o ponto a ser protegido;
- **I** é a corrente de trabalho do equipamento de raios X, em (mA)
- **W** é a carga de trabalho em (mA x min/ sem);
- **T** é o fator de ocupação.

A camada semi-redutora (CSR) é definida como sendo a espessura de material que reduz à metade a intensidade do feixe de fótons de raios X. A camada decirredutora (CDR) é definida como sendo a espessura de material que atenua por um fator de 10 a intensidade do feixe de fótons de radiação X.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das CSR e CDR dos equipamentos do LCI, segundo a norma NCRP 49 (1976) em seu apêndice C. O conhecimento destes valores é importante para a utilização da regra das duas fontes (CRP, 1976).

**Tabela 3- Dimensionamento das CSR e CDR**

Salas	Tensão (kV)	CSR Pb (mm)	CDR Pb (mm)	CSR Concreto (cm)	CDR Concreto (cm)
Raios X1	60	0,20	0,62	1,04	3,60
	125	0,28	0,93	2,0	6,6
Raios X2	220	0,60	1,91	2,31	7,70
	160	0,34	1,07	2,28	7,5
Raios X3	320	1,67	5,80	3,1	10,50

Como há duas intensidades de radiação na mesma parede (fuga e espalhamento) deve-se fazer uma análise segundo a regra das duas fontes (NCRP, 1976):

- a) Se a diferença entre as espessuras das duas barreiras for maior que 1 CDR, adota-se a de maior espessura;
- b) Se a diferença entre as duas barreiras for pequena, ou seja, menor que 1 CSR, adiciona-se 1 CSR à maior delas.

Com os valores de  $K_{ux}$ , para a radiação de espalhamento e de fuga, e utilizando-se a regra das duas fontes, foi obtido o dimensionamento final das barreiras secundárias com as espessuras necessárias de blindagem em concreto e chumbo, apresentadas na Tabela 4.

A maior espessura de blindagem para a radiação de espalhamento e de fuga ocorrerá na parede do Laboratório 3, devido à maior tensão de trabalho (320kV) e também pelo fato de fazer divisa com o Laboratório 1, recebendo feixes de radiação de ambos os lados; a blindagem final é de 5,2mm de chumbo ou 12,5cm de concreto

**Tabela 4.Dimensionamento final das barreiras secundárias.**

Laboratório de Raios X 1					
Equipamentos 60 e 125 kV					
Parede P-01 Blindagem		Parede P-02 Blindagem		Parede P-07 Blindagem	
Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)
1,0	3,8	1,9	4,7	5,2	12,5
Laboratório de Raios X 2					
Equipamentos 220 e 160 kV					
Parede P-08 Blindagem		Parede P-09 Blindagem		Parede P-10 Blindagem	
Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)
2,0	6,5	1,7	4,6	2,1	6,7
Laboratório de Raios X 3					
Equipamento 320 kV					
Parede P-05 Blindagem		Parede P-06 Blindagem		Parede P-07 Blindagem	
Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)	Pb (mm)	Concreto (cm)
4,6	11,1	2,9	5,5	5,2	12,5

Foram ainda comparados os custos por m<sup>2</sup> das blindagens de concreto e chumbo, para a maior espessura de blindagem dimensionada, que foi de 7,1mm de chumbo ou 25cm de concreto:

- a) Concreto com espessura de 25,0cm; o valor do m<sup>2</sup> é de R\$150,00 (Empresa A)
- b) Chumbo com espessura de 7,1mm; o valor do m<sup>2</sup> é de R\$1.548,00 (Empresa B).

Pode-se verificar que para o mesmo nível de blindagem, o concreto possui um custo 10 vezes menor que o chumbo.

## 5. CONCLUSÕES

A maior blindagem será necessária na parede do feixe primário do Laboratório 3, devido a sua maior tensão de trabalho (320kV). A utilização do concreto como barreira física foi a melhor solução obtida, visto o chumbo apresentar um custo 10 vezes maior que o concreto para a mesma proteção.

Foi adotada no projeto da ampliação do laboratório, em todas as paredes dos laboratórios de raios X a espessura de 25 cm de concreto, devido aos custos de construção serem minimizados pela utilização de apenas uma forma para a concretagem.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao MSc. Fábio F. Suzuki e à Dra. Malvina B. Mitake pelas valiosas sugestões no cálculo das barreiras, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), e ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, INCT em Metrologia das Radiações da Medicina), pelo apoio financeiro parcial.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica – NN-3.01. Diário Oficial da União de 26 de janeiro de 2005. (CNEN NN 3.01)
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Vienna, 2000. (SRS 16)
- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Structural Shielding and Evolution for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV. NCRP Publications, Bethesda, MD, 1976 (NCRP 49)
- [4] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities. NCRP Publications, Bethesda, MD, 2004 (NCRP 147)