SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA EMBALADO DE TRANSPORTE DE MO-99

D. H. S. Hara[1]; R. F. Lucchesi[1]; V. A. Mancini[1]; M. Fiore[2]; J. L. Rossi[1]
Av. Lineu Prestes, 2242 - Cidade Universitária - CEP 05508-000 - São Paulo - SP - Brasil
dhshara@usp.br
[1]Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP
[2]Escola Politécnica, POLI - USP

RESUMO

O transporte de materiais radioativos deve ser realizado em embalados capazes de suportar tanto condições normais quanto acidentais de transporte. O objetivo deste trabalho é a seleção de materiais que possam viabilizar a fabricação de um embalado para o transporte de substâncias que sejam fontes de alta radioatividade, em especial o Mo-99, cujo produto do decaimento radioativo é o Tc-99m, utilizado para fins diagnósticos na medicina nuclear. Para tanto, foi realizada a seleção dos possíveis materiais que podem ser utilizados para a fabricação das principais partes de um embalado, com o auxílio do programa CES EduPack, levando em consideração os requisitos de projeto. O programa XCOM foi utilizado para o cálculo do coeficiente de atenuação da radiação gama de alguns dos materiais selecionados para a blindagem, como Pb e ligas de W. Foram calculadas, posteriormente, as espessuras necessárias para a blindagem da radiação.

Palavras-chave: seleção de materiais, embalado de transporte, blindagem

INTRODUÇÃO

Os radiofármacos podem ser definidos como substâncias que contém um isótopo radioativo, utilizadas para diagnóstico mais preciso de exames e tratamento de patologias ou disfunções (radioterapia). Atualmente, o radionuclídeo mais importante para a preparação de radiofármacos com finalidade diagnóstica é o tecnécio-99m (Tc-99m) [(1)], produto do decaimento radioativo do molibdênio-99 (Mo-99). No Brasil, não há outra forma de obtenção deste radionuclídeo que não pela importação, uma vez que não há reatores capazes de produzi-lo.

Diante deste cenário, o Brasil está investindo em um projeto que pretende tornar o país independente na produção deste radionuclídeo: o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Neste contexto, é de grande importância o desenvolvimento de um embalado de transporte de substâncias radioativas, em especial o Mo-99, o qual deve ser transportado do local em que este é produzido (reator) até o local em que ocorre seu fracionamento. É de interesse que este embalado seja produzido com recursos e tecnologia nacionais.

No Brasil, o principal órgão responsável pela regulamentação do transporte de materiais radioativos é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que estabelece a Norma CNEN-NE-5.01[(2)] para o controle das atividades relativas ao transporte desses materiais. De acordo com esta Norma, o transporte de Mo-99 deve ser realizado em embalado do Tipo B, que deve ser projetado para suportar tanto condições normais quanto acidentais de transporte. De maneira geral, os embalados Tipo B são constituídos por quatro partes principais: um recipiente interno, blindagem, isolamento térmico/ proteção ao impacto e recipiente externo[(3)].

Dessa forma, foi realizado um estudo para verificar a viabilidade de fabricação de um embalado nacional para o transporte de Mo-99, atendendo às futuras necessidades previstas com a construção e operação do RMB. Para tanto, este trabalho envolve as seguintes etapas: 1) seleção dos possíveis materiais que podem ser utilizados para a fabricação do embalado, com auxílio do programa CES EduPack e da metodologia desenvolvida por Ashby [(4)]; 2) cálculo do coeficiente de atenuação da radiação gama de alguns dos materiais selecionados para compor a blindagem do embalado utilizando-se o programa XCOM e 3) cálculo das espessuras necessárias para que a intensidade da radiação seja reduzida à metade

(Half Value Layer - HVL) e a um décimo (Tenth Value Layer - TVL) da intensidade inicial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizado o procedimento esquematizado na Fig.1 e descrito a seguir.

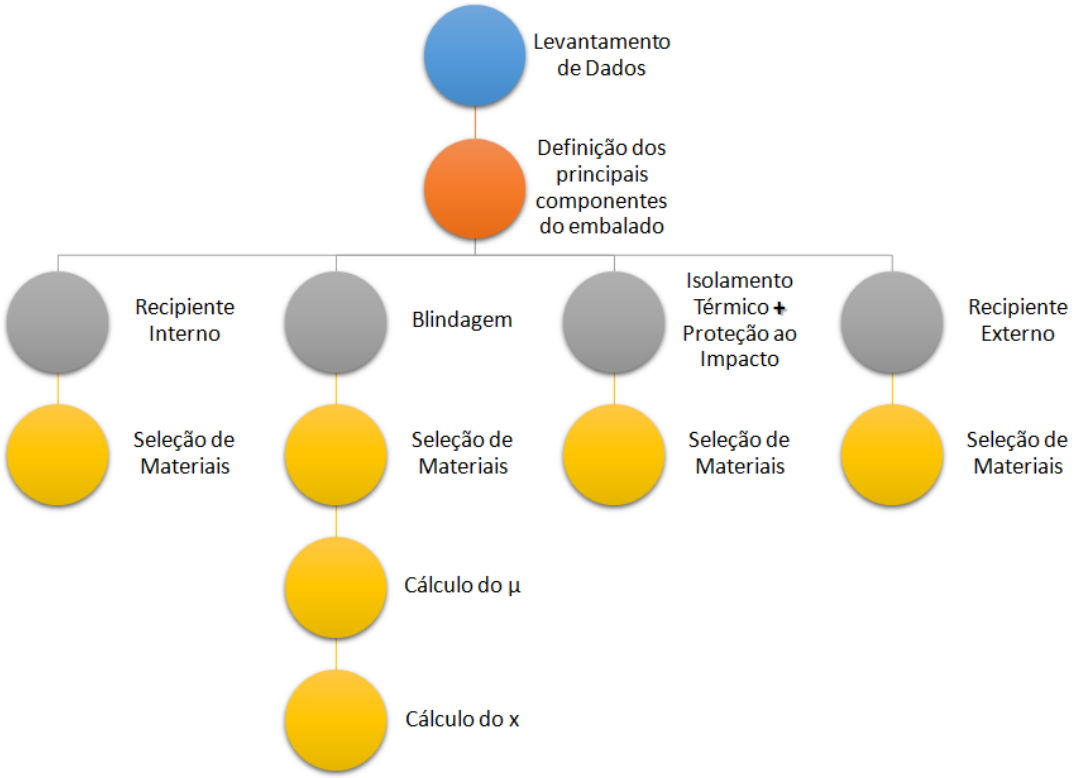

FIGURA 1 – Procedimento utilizado no desenvolvimento do trabalho.

A seleção dos possíveis materiais que podem ser utilizados para a fabricação do embalado foi realizada utilizando-se o aplicativo CES Edupack (versão 2013). Este aplicativo é um pacote de software que implementa a metodologia desenvolvida por Ashby para a seleção de materiais e consiste em um banco de dados de materiais e informações de processos. Partindo-se dos materiais comumente encontrados para cada componente de um embalado, foram estabelecidos os valores limites para que fosse realizado um refinamento que excluísse da seleção aqueles materiais que não atendessem aos requisitos de projeto.

Na Fig.2 se encontra um fluxograma que apresenta o procedimento utilizado para o processo de seleção de materiais com o auxílio do aplicativo citado.

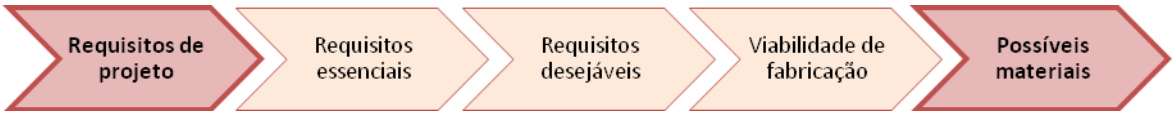

FIGURA 2 – O fluxograma da seleção de materiais.

Para o cálculo do coeficiente de atenuação da radiação gama de alguns dos materiais selecionados para a blindagem foi utilizado o programa XCOM. Trata-se de um programa desenvolvido e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologias (*National Institute of Standards and Technology - NIST*), que contém um banco de dados dos coeficientes de atenuação γ de diversos materiais. Assim, para um dado material, é possível se obter o coeficiente de atenuação total, para um único elemento, composto ou mistura. Por meio da Eq.(A) e do coeficiente de atenuação total obtido para cada material selecionado, foram calculadas as espessuras necessárias para que a intensidade da radiação seja reduzida à metade (HVL) e a um décimo (TVL) de sua intensidade inicial.

$$I = I_0 . e^{-\mu x} \qquad (A)$$

Na equação apresentada, I é a intensidade da radiação após passar pela blindagem, I_0 é a intensidade inicial da radiação, μ é o coeficiente de atenuação total e x é a espessura da blindagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção de materiais para blindagem

No caso da blindagem, o requisito essencial diz respeito à contenção da radiação; neste caso, quanto maior a densidade de um material, maior é a capacidade de blindagem da radiação [5]. Dessa forma, partiu-se do material de menor densidade que apresenta aplicação na área nuclear para tal fim em embalados do Tipo B, o chumbo (Pb). Nas informações fornecidas pelo aplicativo, o menor valor da densidade deste material é de $1{,}13 \times 10^4$ kg/m^3 (limite inferior).

O segundo critério de refinamento utilizado diz respeito à capacidade de manutenção da integridade do embalado quando submetido a temperaturas variando de -40^{o}C a +55^{o}C [(2)]. Este requisito exige que o material apresente baixo valor de coeficiente de expansão térmica e configura um requisito desejável. Novamente, dentre os materiais que figuram nos embalados Tipo B analisados, o chumbo é o material que apresenta maior valor do coeficiente de expansão térmica, sendo fixado seu valor médio em 29,2 μdeformação/^{o}C (limite superior).

O procedimento de seleção de materiais continua escolhendo-se paulatinamente os parâmetros a serem utilizados na análise. A cada parâmetro, espera-se refinar os resultados obtidos, até que se atinja um grupo seleto de materiais que desempenhem a função desejada.

Por fim, foi gerado o gráfico da densidade em relação ao preço (valor em reais por kg de material), apresentado na Fig. 3. O preço é fator determinante para verificar a viabilidade de fabricação.

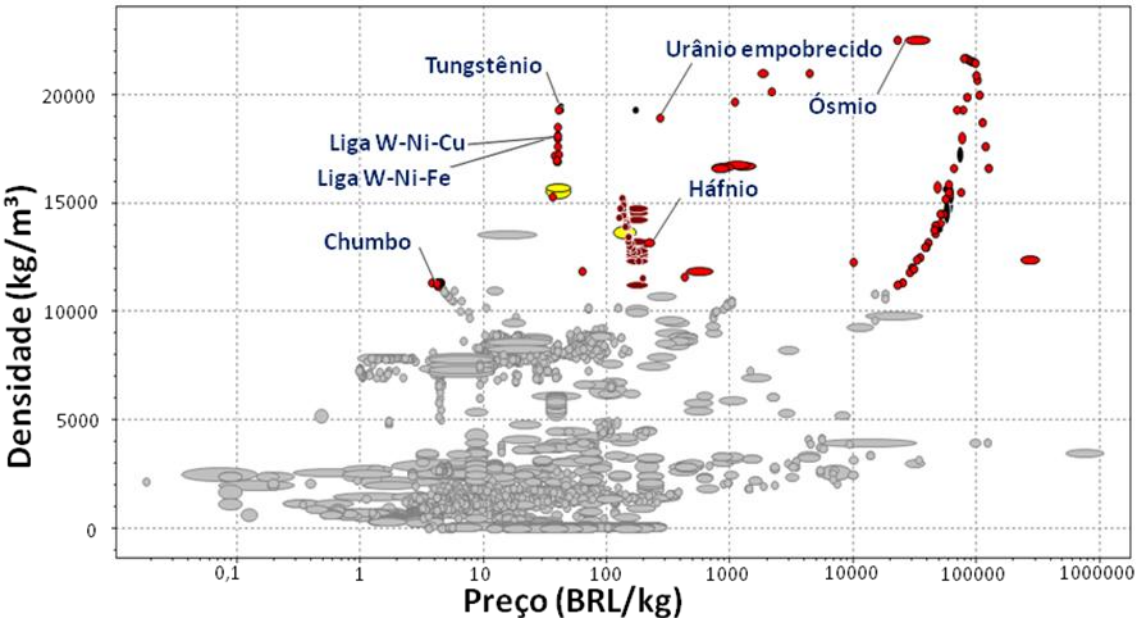

FIGURA 3 – Gráfico dos resultados obtidos para a densidade em relação ao preço, limitando-se os valores da densidade (mínimo de 1,13x10^{4} kg/m^{3}) e do coeficiente de expansão térmica (máximo de 29,2 μdeformação/^{o}C).

Analisando-se os resultados obtidos no gráfico, pode-se observar que o preço do urânio empobrecido, háfnio e ósmio são elevados em comparação aos demais materiais destacados, assim, esses foram excluídos ao final da seleção.

Para as demais partes do embalado foi utilizado o mesmo procedimento descrito, variando-se apenas os parâmetros desejados para cada caso.

Seleção de materiais para isolamento térmico e proteção ao impacto

No que se refere ao isolamento térmico e proteção ao impacto, os seguintes parâmetros foram utilizados: baixa densidade (limite superior fixado em 8100 kg/m^3, baixa condutividade térmica (limite superior fixado em 24 W/m.^{o}C), baixo módulo de Young (limite superior fixado em 210 GPa) e preço. Dentre os materiais que apresentam ambas características e que figuraram na seleção estão as espumas, as colméias e alguns materiais naturais, como a madeira e a cortiça, por exemplo.

Seleção de materiais para recipiente externo e interno

Quanto ao recipiente externo, os seguintes parâmetros foram utilizados: baixa densidade (limite superior fixado em 8100 kg/m^3), temperatura máxima de trabalho (limite superior fixado em 800^{o}C), alto módulo de Young (limite inferior fixado em 189 GPa), baixo coeficiente de expansão térmica (limite superior fixado em 29,2 μdeformação/^{o}C) e preço.

Os parâmetros utilizados para o recipiente interno foram: baixa densidade (limite superior fixado em 8100 kg/m^3), reatividade química baixa (para resistência à corrosão), alto módulo de Young (limite inferior fixado em 189 GPa), baixo coeficiente de expansão térmica (limite superior fixado em 29,2 μdeformação/^{o}C) e preço.

Os materiais selecionados tanto para o recipiente interno quanto externo se concentram principalmente nos grupos dos aços inoxidáveis, ligas de níquel e ligas de alumínio.

Cálculo do coeficiente de atenuação (μ) e da espessura da blindagem (x)

Para os materiais selecionados para a blindagem, foram obtidos os valores dos coeficientes de atenuação total com o auxílio do programa XCOM, levando-se em consideração a energia do fóton de intensidade relativa (I_R) mais significativo: 777,921keV (I_R = 35,3%) [6]. Posteriormente, foram calculadas as espessuras necessárias para que a intensidade da radiação seja reduzida à metade (HVL) e a um décimo (TVL) de sua intensidade inicial. Os resultados obtidos estão apresentados na Tab. 1.

TABELA 1 – Valores obtidos de HVL e TVL utilizando-se os coeficientes fornecidos pelo XCOM.

Material	Densidade (g/cm^3)	μ (cm^2/g)	HVL (cm)	TVL (cm)
Chumbo	11,3	0,0865	0,71	2,35
Tungstênio	19,3	0,0788	0,45	1,51
Liga W-Ni-Cu	17,9	0,07826	0,49	1,64
Liga W-Ni-Fe	18,4	0,07849	0,48	1,59

Os dados da tabela mostram que, embora o chumbo seja um material interessante do ponto de vista de suas propriedades e, principalmente, preço, seria necessária uma espessura relativamente maior para reduzir a mesma intensidade de radiação, quando comparado ao tungstênio e suas ligas.

CONCLUSÃO

Os materiais selecionados como candidatos potenciais para a fabricação da blindagem foram o chumbo e as ligas de W. Dentre esses, o tungstênio puro foi o material que apresentou menor valor de HVL e TVL.

Para o isolamento térmico e proteção ao impacto, foi obtida uma vasta gama de materiais possíveis, dentre os mais promissores podemos destacar espuma de poliuretano, cortiça e colmeia de alumínio.

No que concerne ao revestimento interno e externo, os materiais selecionados se concentram principalmente nos grupos dos aços inoxidáveis, ligas de níquel e ligas de alumínio.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela bolsa concedida durante a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. ARAÚJO, E.B. A Utilização do elemento tecnécio-99m no diagnóstico de patologias e disfunções dos seres vivos. ***Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola***, São Paulo, 2005. Disponível em:

http://qnint.sbq.org.br/qni/visualizarTema.php?idTema=51. Acesso em: 29 de julho 2014.

2. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. ***CNEN-NE-5.01 - Transporte de Materiais Radioativos***. São Paulo, SP: CNEN, 1988.
3. DOE Certificates of Compliance. In: ***RAMPAC - Radioactive Material Packaging***. Disponível em: http://rampac.energy.gov/certinfo/certificates/doe/default.aspx. Acesso em: 20 junho 2014.
4. ASHBY, M. ***Seleção de Materiais no Projeto Mecânico***. 4. Ed. Rio de Janeiro, R.J.: Elsevier, 2012.
5. TAUHATA, L.; SALATI, I.P.A.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. ***Radioproteção e Dosimetria***: Fundamentos. 8. Ed. Rio de Janeiro, R.J.: IRD/CNEN, 2011.
6. FIRESTONE, R.B. ***Table of Isotopes***. CD-ROM Edition. Burkeley, CA: Wiley-Interscience, 1996.

MATERIALS SELECTION FOR TRANSPORT PACKAGING OF MO-99

ABSTRACT

The transport of radioactive material must be done in packages that support both normal and accidental conditions of transportation. The aim of this work is the materials selection that can enable the manufacturing of a package for the transportation of high radioactive substances, especially the Mo-99, which radioactive decay product is Tc-99m, largely used for diagnosis in nuclear medicine. For this, the materials selection was performed with the aid of CES EduPack program, taking into account the design requirements. The XCOM program was used to calculate the attenuation coefficient of gamma radiation from some of the materials selected for the shielding, like Pb and W alloys. After, the thicknesses required for the radiation shielding was calculated.

Key-words: materials selection, transport packaging, shielding