

AVALIAÇÃO QUANTO A RISCO DE CRITICALIDADE NUCLEAR NA ESTOCAGEM DE CILINDROS PADRÕES DE UF₆

Margaret de Almeida Damy e Carlos Roberto Ferreira

IPEN/CNEN-SP
Travessa R. 400 - Cidade Universitária
S. Paulo, SP, Brasil
e-mails: madamy@net.ipen.br e croberto@net.ipen.br

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo de separações mínimas seguras para a estocagem de cilindros padrões contendo Hexafluoreto de Urânio, UF₆, utilizados em certas atividades relacionadas ao ciclo do combustível nuclear. As seções de choque homogêneas em 16 grupos de energia são calculadas com o código GAMTEC-II, sendo que o cálculo dos sistemas de estocagem é elaborado com o código KENO-IV, o qual utiliza o método Monte Carlo para determinar a reatividade do sistema.

INTRODUÇÃO

Várias atividades do ciclo do combustível nuclear envolvem o manuseio de materiais físeis, tais como compostos de urânio ou de plutônio. Se as quantidades e o teor de isótopos físeis forem suficientemente elevadas, são necessárias análises de segurança contra o risco de criticalidade nuclear, para garantir que os equipamentos e o sistema de processamento mantenham-se seguramente subcríticos, impedindo-se a ocorrência de um acidente de criticalidade nuclear.

Com o propósito de garantir a segurança quanto a acidentes de criticalidade nuclear em instalações do ciclo do combustível nuclear, foram criadas normas e procedimentos [1,2,3] que estabelecem limites de segurança, tais como segurança por limitação de massa, geometria segura, teores de enriquecimento, procedimentos de operação e administrativos, etc.

O composto hexafluoreto de urânio, UF₆, surge durante o processamento químico de compostos de urânio e particularmente nas atividades de enriquecimento do combustível nuclear e na fabricação de elementos combustíveis para reatores nucleares. Dada a frequência da utilização deste composto, foram padronizados cilindros

para a estocagem de UF₆ [4], como por exemplo, cilindros padrões tipo 5A, 8A, 8B, 12A, 12B, etc, que especificam quantidades e enriquecimentos máximos utilizados.

Este trabalho trata da estocagem segura de cilindros padrões contendo UF₆, especificando a distância mínima centro-a-centro requerida entre posições adjacentes na estocagem de qualquer quantidade de cilindros padrões.

CILINDROS PADRÕES ANALISADOS

Na Tabela 1, extraída da Referência [4] encontram-se os dados dos cilindros padrões abordados neste trabalho. Informações completas podem ser obtidas na referência citada.

A estocagem de cilindros consiste em posicioná-los paralelamente lado a lado, formando uma rede de cilindros que constituem um arranjo retangular ("infinito"), neste caso nas direções x e y. Nesta rede de estocagem, é observada uma distância mínima calculada centro-a-centro entre cilindros vizinhos, de tal forma que o arranjo seja seguramente subcrítico.

TABELA 1. Cilindros Padrões de UF₆

Tipo	Diâmetro Interno (cm)	Material (*) Espessura (cm)	Volume Mínimo (l)	Enriquecimento Máximo de UF ₆ (% de U-235)	Carga Máxima de UF ₆ (kg)
5A	12.70	Monel (0.65)	8.04	100.0	24.95
8A	20.32	Monel (0.5)	37.35	12.5	115.67
12B	30.48	Monel (0.65)	67.4	5.0	208.7

(*) Nos cálculos, o revestimento considerado foi o aço inox.

CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

Deve-se garantir conservativamente, que o sistema de estocagem de materiais fisséis mantenha-se subcrítico em quaisquer circunstâncias.

Conforme as Referências [1,2], um sistema contendo material fissil é considerado seguro quanto a acidentes de criticalidade se o seu fator de multiplicação efetivo de nêutrons for igual ou inferior a 0,95. No entanto, em certas circunstâncias quando o k-efetivo calculado para o sistema em estudo apresentar maiores incertezas, o limite de segurança adotado pode ser 0,90 ou mesmo 0,80. Se o fator de multiplicação efetivo for obtido por meio de métodos Monte Carlo, esta condição pode ser expressa na forma:

$$k + 2 \sigma \leq 0,95 \quad (1)$$

onde k é o valor médio e σ é o desvio padrão da média, sendo os cálculos feitos para as condições de máxima reatividade nuclear e para o sistema completamente refletido por água.

No caso da estocagem de cilindros padrões de UF₆, os cálculos foram feitos para a estocagem a seco e imersa em água, sendo o conteúdo do cilindro composto por UF₆ acrescido de uma unidade de 2,5E-05 átomos de hidrogênio/barn/cm, correspondente a ocupação do volume livre do cilindro por vapor saturado de água.

METODOLOGIA DE CÁLCULO

A metodologia de cálculo usualmente empregada na Divisão de Física de Reatores do IPEN, consiste na utilização dos programas GAMTEC-II [5], para geração das seções de choque homogêneas colapsadas em 16 grupos de energia (estrutura Hansen-Roach) e no programa de Monte Carlo KENO-IV [6], para os cálculos de fatores efetivos de multiplicação de nêutrons do sistema considerado.

Neste caso, o processamento dos dados foi efetuado no sistema de "workstations" IBM/RISC-6000 do IPEN/CNEN-SP.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos correspondem às curvas dos fatores efetivos de multiplicação em função do espaçamento centro-a-centro entre cilindros vizinhos numa rede de estocagem infinita em x e y. Estas curvas são apresentadas nas Figuras 1, 2, 3 e 4, para as condições da estocagem a seco e imersa em água, respectivamente, para os cilindros padrões tipos 5A, contendo UF₆ com 20% de enriquecimento em U-235, 5A contendo UF₆ enriquecido a 100 % em U-235, 8A contendo UF₆ com 12,5% de enriquecimento em U-235 e 12B contendo UF₆ com 5% de enriquecimento em U-235. Considerou-se ainda, nos cálculos com o KENO-IV, um comprimento ativo superior a 2 vezes o conteúdo real do cilindro padrão considerado, tal que na estocagem pode-se ter cilindros empilhados dois a dois.

Os cálculos com o código KENO-IV foram efetuados considerando-se 100.000 histórias formadas por 205 grupos de 500 nêutrons, desprezando-se os cinco primeiros números. Desta forma, todos os desvios padrões das médias dos k-efetivos (não indicados nos gráficos) encontram-se abaixo de 0,00250, sendo que a grande maioria está abaixo de 0,00200.

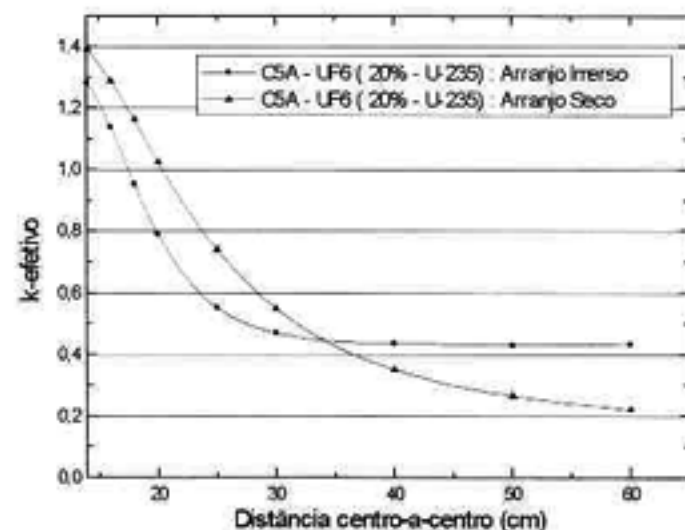


Figura 1. Estocagem de Cilindros Padrões Tipo 5A Contendo UF₆ (20% - U-235) - Arranjo Infinito

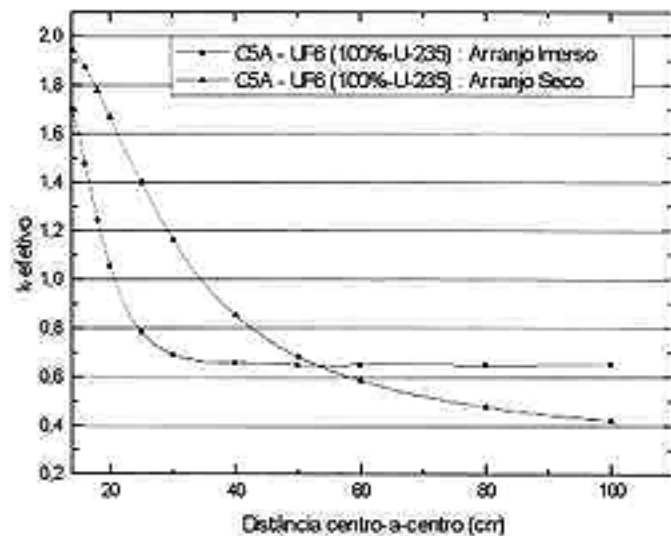


Figura 2. Estocagem de Cilindros Padrões Tipo 5A Contendo UF₆ (100% - U-235) - Arranjo Infinito

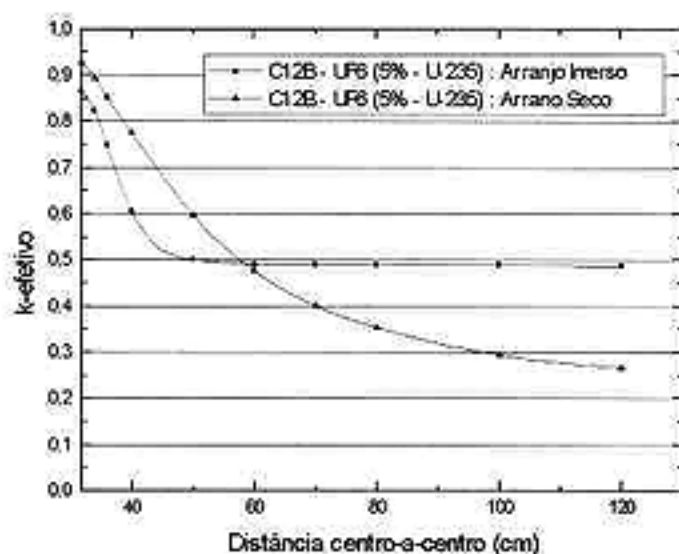


Figura 3. Estocagem de Cilindros Padrões Tipo 12B Contendo UF₆ (5% - U-235) - Arranjo Infinito

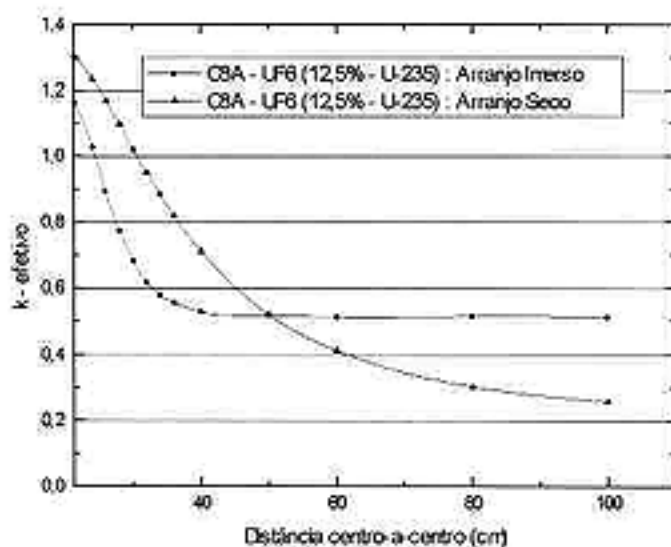


Figura 4. Estocagem de Cilindros Padrões Tipo 8A Contendo UF₆ (12,5% - U-235) - Arranjo Infinito

As curvas apresentadas nas Figuras de números 1 a 4 mostram a evolução da reatividade nuclear dos sistemas de estocagem de cilindros padrões em função do espaçamento centro-a-centro entre cilindros adjacentes em

arranjos retangulares "infinitos" de estocagem. A observação destas curvas indica claramente as distâncias mínimas seguras entre posições ou racks de estocagem para garantir a subcriticalidade do sistema. Por exemplo, tomando-se o limite de segurança 0,95 para o k-efetivo, dado na Eq. (1), ou, sendo mais rigoroso ainda, adotando-se como limite de segurança os valores 0,90 ou 0,80, pode-se montar a Tabela 2 abaixo:

TABELA 2. Distâncias Seguras Mínimas Centro-a-Centro para Estocagem de Cilindros Padrões de UF₆ em Arranjos Retangulares

Limite de Segurança k_{ef}	Distância Mínima Segura			
	C5A(20%)	C5A(100%)	C8A(12,5%)	C12B(5%)
0,95	22	37	33	32
0,90	23	40	34	34
0,80	24	44	37	39

A escolha de um limite de segurança relacionado na Tabela 2, depende das condições de estabilidade do sistema em consideração e também do grau de confiança dos valores calculados para os fatores de multiplicação efetivos de nêutrons do referido sistema. Dada as condições estáveis da estocagem de cilindros padrões de UF₆, recomenda-se o limite de segurança como sendo 0,95 para o k-efetivo.

CONCLUSÃO

Recomenda-se para estocagem de cilindros de UF₆, as seguintes distâncias mínimas entre os centros de cilindros vizinhos num arranjo retangular "infinito": 22 cm para cilindros 5A (20% de U-235); 37 cm para cilindros 5A (100% de U-235); 33 cm para cilindros para cilindros tipo 8A (12,5% de U-235) e finalmente 32 cm para cilindros tipo 12B (5% de U-235).

REFERÊNCIAS

- [1] Silver, E. G., translator of the original German, **Handbook on Criticality, Data on Criticality-Fissionable Material Uranium 235**, Oak Ridge, Tennessee, december, 1980.
- [2] Knief, R. A., **Nuclear Criticality Safety, Theory and Practice**, American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois, USA, segunda edição, 1986.
- [3] Thomas, J. T., **Nuclear Safety Guide**, American Nuclear Society, La Grange Park, Illinois, USA, segunda edição, 1986.
- [4] DOE Field Office, **Uranium Hexafluoride: A Manual of Good Handling Practices**, ORO- 651 (Rev.6)

Analyses Corporation, Oak Ridge, Tennessee, october, 1991.

[5] CARTER, L. L. et al., **A Code for Generating Consistent Multigroup Constants Utilized in Diffusion and Transport Theory Calculations, GAMTEC-II**, Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington, BNWL-35, March, 1965.

[6] PETRIE, L. M. and CROSS, N. F., **An improved Monte Carlo Criticality Program: KENO-IV**, ORNL-4938, November, 1975.