

DETERMINAÇÃO DE DIMENSÕES SEGURAS QUANTO  
A CRITICALIDADE EM SISTEMAS DE TUBULA-  
ÇÕES COM INTERSEÇÃO

R. dos Santos e S. O. Vellozo  
Instituto Militar de Engenharia (IME)  
Rio de Janeiro - RJ

Resumo:

Através do Método de Monte Carlo, foram feitos cálculos de criticalidade para tubulações em diversos tipos de reflexão e configurações, preenchidos com solução de nitrato de Plutônio, a cem por cento em peso do isótopo Pu-239, em água. A partir da condição mais simples de interseção de tubulação, o tipo 'T', estuda-se a interseção tipo Cruz e Cruz Dupla. Chega-se até a adição de uma segunda coluna central. As "interseções são analisadas nas condições de reflexão mínima, nominal e máxima. São apresentados valores seguros quanto a criticalidade para alguns sistemas. (autor).

Introdução:

Um dos principais problemas em projetos de instalações que processam materiais físséis diz respeito a segurança quanto a criticalidade de sistemas de tubulações que contenham estes materiais. Pela resolução da equação do transporte de neutrons, parâmetros como o fator de multiplicação para cada um destes sistemas, poderiam ser obtidos com o objetivo de avaliar sua segurança. Contudo, devido ao alto grau de complexidade alcançado por estes sistemas, soluções numéricas convencionais para a equação do transporte de neutrons tornam-se praticamente impossíveis. Assim, no início da era nuclear, os cálculos de segurança quanto a criticalidade para sistemas complexos como estes, eram feitos através de modelos empíricos pela interpolação de dados experimentais e evidentemente, devido a baixa confiabilidade, eram cercados de inúmeras aproximações conservativas que assegurassem a subcriticalidade. Com o avanço dos

computadores digitais, o método de Monte Carlo<sup>1,2</sup> ganhou uma importância muito grande na análise de sistemas complexos. A vantagem principal deste método sobre os outros<sup>3</sup> é que qualquer geometria tridimensional pode ser descrita e analisada de uma forma relativamente simples. Atualmente é preferível concentrar esforços na obtenção de conjuntos confiáveis de seções de choque do que realizar experiências específicas, uma vez que a qualidade dos resultados obtidos através do método de Monte Carlo depende apenas da qualidade das seções de choque empregadas nos cálculos.

O instrumento usado para os cálculos foi o código computacional KE-N O - IV<sup>4</sup>. O mesmo trabalha com a equação de Transporte de neutrons na formulação multigrupo e forma integral. É um código específico para o estudo de criticalidade. O conjunto de seções de choque usado foi o de Hansen-Roach<sup>5</sup> com 16 grupos de energia. A mistura estudada foi 0.25 g de Pu por cm<sup>3</sup> em solução aquosa. Considera-se apenas o isótopo Pu-239.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para o estudo de segurança em criticalidade das mais diversas configurações de tubulações contendo solução de material físsil, como por exemplo, conexões entre tubulações, colunas estocadoras, evaporadores, etc, que ocorrem nas instalações responsáveis pelo enriquecimento isotópico, pela fabricação de elementos combustíveis e pelo tratamento de rejeitos provenientes de reatores nucleares. Embora os cálculos tenham sido feitos para um único material físsil, isto em nada limita a aplicação da metodologia aqui apresentada.

#### Modelagem das Tubulações:

O primeiro problema encontrado na modelagem dos sistemas de tubulações surge logo no início. Como descrever a interseção entre dois cilindros? Esta não é uma pergunta fácil de ser respondida. As razões são as seguintes: 1- o programa utilizado não permite interseções entre suas configurações geométricas; 2- ainda que a opção 'Geometria Generalizada' seja empregada, esta não apresenta meios de descrever a interseção. Todos estes problemas surgem do fato da figura geométrica resultante de tal interseção, uma elipse, encontrar-se inscrita nas paredes de um dos cilindros. Portanto, alguma aproximação deve ser empregada. A resposta encontrada para isto foi substituir

por um paralelepípedo retangular com área de seção reta quadrada e de altura igual a do cilindro. Com isto surgem algumas questões: 1- que dimensões devem ter este paralelepípedo?, 2- a área de interseção não será alterada? e 3- isto não vai interferir no número máximo de braços num quadrante?. Ernst<sup>6</sup> sugere que o paralelepípedo em questão deve possuir o mesmo "Buckling" geométrico do cilindro a ser substituído.

$$\left(\frac{2.4045}{R}\right)^2 = 2\left(\frac{\pi}{A}\right)^2 \quad (1)$$

Assim, para um dado cilindro de raio R, o paralelepípedo equivalente terá aresta A na sua seção reta. Esta aproximação é conservativa. Ao se representar um cilindro por um paralelepípedo de igual altura e mesmo "Buckling" geométrico, uma alteração no fator de multiplicação é introduzida. A tabela I apresenta o resultado comparativo entre os fatores de multiplicação devido a equação 1. Os valores de K não exibem as variações. A última coluna fornece o percentual da superestimação, isto é, quantos por cento o fator de multiplicação do paralelepípedo excede o do cilindro. Mas não deve ser esquecido que a área de interseção é

Tabela I

Cilindro		Paralelepípedo		% da superestimação
Raio(cm)	K	Aresta(cm)	K	
17.32	0.72113	16	0.73808	2.35
19.48	0.83134	18	0.84939	2.17
21.66	0.92475	20	0.93915	1.55
22.74	0.96191	21	0.99216	3.14
23.82	0.99967	22	1.01203	1.24
25.98	1.07324	24	1.07884	0.52

um fator importante. O fato de considerar-se a área de interseção circular ao invés de elíptica, levou a uma subestimação de aproximadamente 2.5% no fator de multiplicação. A solução encontrada para compensar esta subestimação foi não considerar a igualdade dos "Bucklings" para a coluna central e substituí-la por um paralelepípedo de aresta igual ao diâmetro da coluna central. Assim, a superestimação passou para aproximadamente 11% que pode ser visto na tabela II.

Tabela II

Diâmetro Aresta	K Cilindro	K Paralelepípedo	% da superestimação
16/16	0.65725	0.73808	12.3
18/18	0.75928	0.84939	11.9
21/21	0.89247	0.99216	11.2

Interseção Tipo 'T', Cruz e Cruz Dupla:

Uma vez estabelecido que a coluna central seria representada por um paralelepípedo de aresta igual ao diâmetro da coluna central, e que isto não leva a uma subestimação no fator de multiplicação, o próximo passo é descrever a interseção mais simples que consiste de uma coluna central e um braço. A figura 1a mostra a disposição dos componentes. Devido a estrutura do programa KENO-IV, tal configuração de tubulação não pode ser totalmente descrita. A adição de um braço diametralmente oposto em relação a coluna central, ao braço já existente na interseção tipo 'T', vem a constituir a interseção tipo Cruz, que pode ser vista na figura 1b. E finalmente a interseção Cruz Dupla esquematizada na figura 1c. Para todas elas foram feitos cálculos com condição de reflexão mínima, isto é, reflexão com apenas o material da tubulação, 0.32 cm de aço inoxidável. A coluna central tem uma altura igual a dois metros com os braços interseptando - a no centro. Cálculos feitos anteriormente mostram que a partir de um metro de comprimento já pode ser considerado infinito. O gráfico da figura 2 apresenta a variação do fator de multiplicação em função do diâmetro do braço que é igual a aresta da

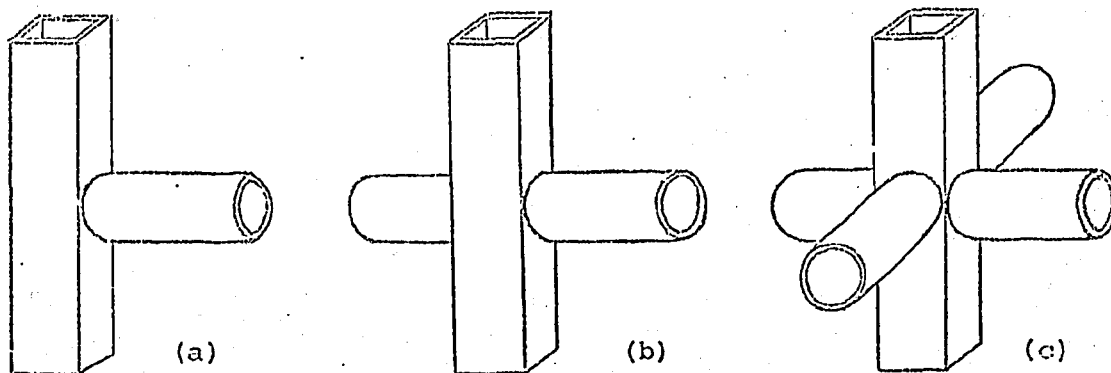


Fig. 1 .

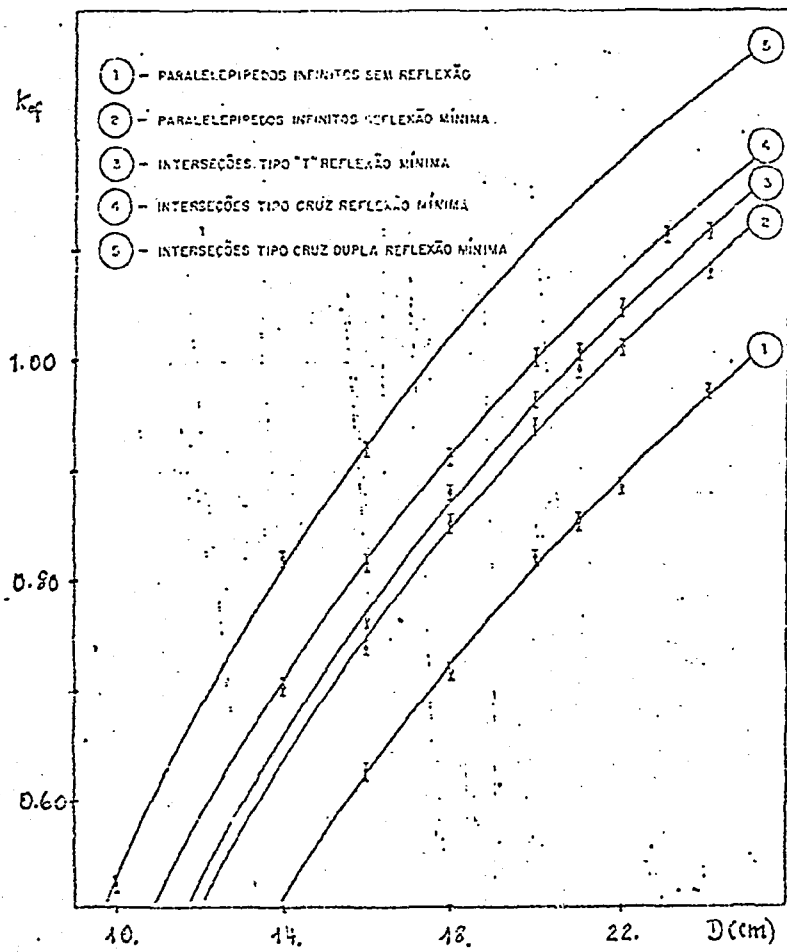


Fig. 2

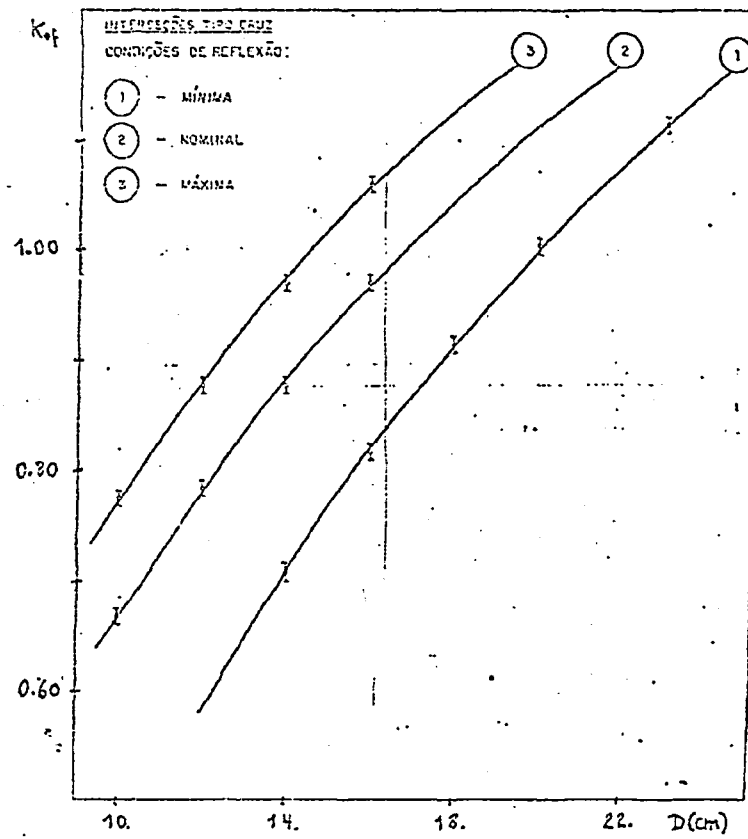


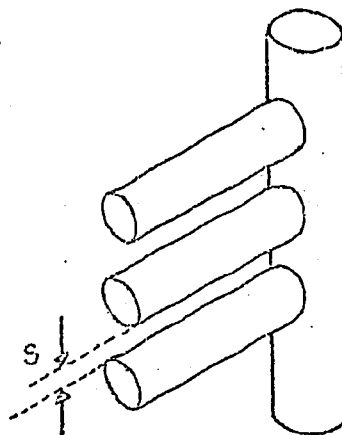
Fig. 3

coluna central, na condição de reflexão mínima.

Outro estudo foi feito no sentido de avaliar-se a influência da reflexão no fator de multiplicação. Para isto cálculos foram feitos utilizando os tres tipos de reflexão, Mínima, que corresponde a 0.32 cm de aço, Nominal, que corresponde a 0.32 cm de aço acrescido de 2.5 cm de água e Máxima, que corresponde a 0.32 cm de aço e 7.6 cm de água. Esta última simula a pior condição possível de reflexão. O efeito da variação do diâmetro da coluna também pode ser observado no mesmo gráfico. É interessante notar a brusca variação no fator de multiplicação ao mudar-se as condições de reflexão. A figura 3 exhibe o gráfico deste estudo feito para interseção do tipo Cruz.

A influencia de um braço sobre outro quando dispostos ao longo da coluna central (ver figura 4) no fator de multiplicação, foi outra situação investigada. Em um sistema tipo 'T' foi usada reflexão especular na parte superior e inferior para simular uma repetição infinita de braços. O resultado da variação do parâmetro  $S$  que representa a distância entre dois braços próximos, pode ser visto na figura 5. O gráfico apresenta curvas para tres valores de arestas, e pode ser visto uma tendência para um valor assintótico, em cada caso específico, a partir de um metro de separação.

Fig. 4



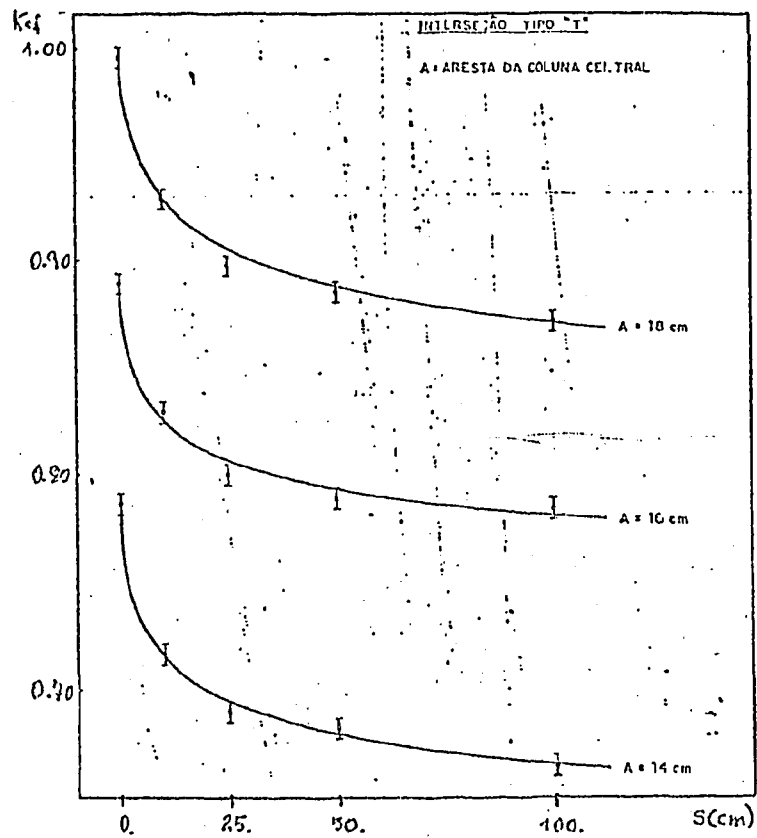


Fig. 5

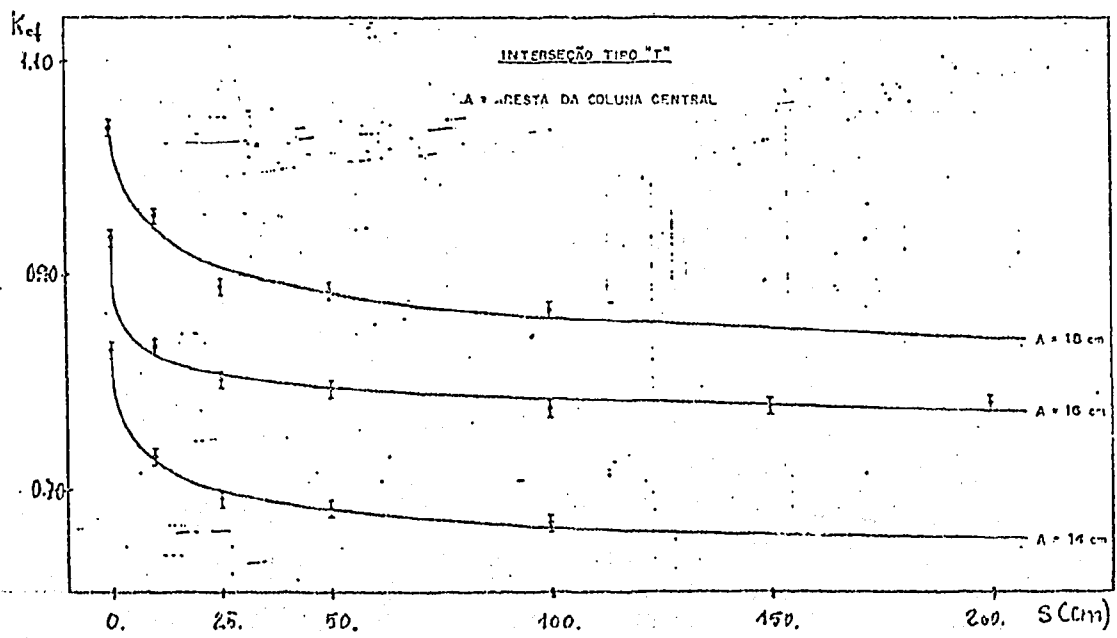


Fig. 6

Finalmente temos o estudo da adição de uma segunda coluna, paralela a coluna central. A conexão é feita através de um braço de comprimento variável, formando uma interseção tipo 'T'. O resultado pode ser visto na figura 6 e mostra a rápida tendência a um valor assintótico. Neste caso o parâmetro S representa a separação entre as duas colunas.

#### Conclusão:

Com este pequeno conjunto de resultados foi possível determinar-se alguns valores seguros para projetos que envolvam sistemas como estes aqui estudados. Os valores são obtidos considerando-se que o fator de multiplicação somado a duas vezes o desvio padrão seja menor que 0.90, ou  $K + 2\sigma < 0.90$ . Este valor é recomendado quando se utiliza o método de Monte Carlo sem a realização de experimentos específicos que validem os cálculos. Embora os resultados obtidos se restrinjam a sistemas contendo solução de nitrato de Plutônio em água, numa concentração de  $0.25 \text{ gPu/cm}^3$ , isto em nada limita a aplicação da mesma metodologia a análises de outras soluções, independentemente do material físsil. Desta maneira, resume-se nas tabelas III, IV e V as dimensões seguras para os três tipos de reflexão.

Tabela III

Sistema (reflexão mínima)	Aresta ou separação (cm)	
Interseção tipo 'T'	18.5	
Interseção tipo Cruz	17.7	
Interseção tipo Cruz Dupla	15.5	
	Distância entra braços (cm)	duas col. (cm)
A = 14 cm	qualquer	qualquer
A = 16 cm	qualquer	0.5
A = 18 cm	33.2	30.5



Tabela IV

Sistema (reflexão nominal)	Aresta (cm)
Interseção tipo Cruz	14.3

Tabela V

Sistema (reflexão máxima)	Aresta (cm)
Interseção tipo Cruz	12.3

Bibliografia:

1. J. Spanier e E. M. Gelbard, Monte Carlo Principles and Neutron Transport Problems, Addison-Wesley, London (1969)
2. D. Dickson e G. E. Whitsides, The Monte Carlo Method Array Criticality Calculations, Nucl. Technol. 30, 166 (1976)
3. D. C. Hunt, A Review of Criticality Safety Models Used in Evaluating Arrays of Fissile Materials, Nucl. Technol. 30, 138 (1976)
4. L. Petrie e N. F. Cross, KENO-IV - An Improved Monte Carlo Criticality Program, ORNL - 4938 (1975)
5. G. E. Hansen e W.H. Roach, Six and Sixteen Group Cross Section for Fast and Intermediate Critical Assemblies, LAMS - 2543 (1961)
6. B. B. Ernst and C. L. Schuske, Empirical Method for Calculating Pipe Intersections Containing Fissile Solutions, RFP - 1197 (1968)