

# ESTIMATIVA DA PRESSÃO MÁXIMA EM CONTENÇÕES DE REATORES PWR DE PEQUENO PORTE DEVIDO A UM ACIDENTE DE PERDA DE REFRIGERANTE NO CIRCUITO PRIMÁRIO

**Teofilo Mendes Neto<sup>†</sup> e João Manoel Losada Moreira\***

<sup>†</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP  
Travessa R 400, Cidade Universitária  
05598-900, São Paulo, SP, Brasil

\*Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, CTMSP  
Av. Lineu Prestes 2242, Cidade Universitária  
05508-900, São Paulo, SP, Brasil

## RESUMO

Neste trabalho é estudado o problema da elevação da pressão na contenção de um reator nuclear devido a um acidente da perda de refrigerante tipo "LOCA" em reatores com contenções de volumes pequenos. Baseia-se o estudo nas principais variáveis que controlam o problema que são a entalpia inicial do refrigerante primário antes de ocorrer o acidente, a massa de refrigerante no circuito primário, as taxas de descarga de massa e energia e os volumes do circuito primário e da contenção. Correlaciona-se a potência do reator e o volume da contenção com a razão entre os volumes do circuito primário e da contenção. Determina-se a pressão máxima na contenção para diferentes tamanhos de contenção e potência de reatores, desde um PWR comercial a um reator naval, desconsiderando-se as trocas de calor com as estruturas presentes e os dispositivos de segurança.

Estima-se a pressão máxima em uma contenção de pequeno porte, à partir de resultados de plantas comerciais, obtendo-se 185 psia para uma razão entre os volumes do circuito primário e da contenção de 0,025. O problema também é estudado com o programa CONTEMP-LT obtendo-se uma pressão máxima de 162 psia para a mesma razão de volumes. Em um acidente tipo "LOCA" o comportamento da temperatura máxima na contenção, em função da razão de volumes, tende para um valor assintótico para pequenas contenções; a pressão máxima na contenção tem um comportamento quase linear e crescente em função da razão de volumes.

**Palavras Chave:** Contenção, "LOCA", "CONTEMP-LT".

## I. INTRODUÇÃO

A expulsão do refrigerante em um reator à água pressurizada, decorrente do rompimento de uma grande tubulação do circuito primário de um reator nuclear, ocasiona um aumento considerável da pressão e da temperatura no ambiente de sua contenção em um curto espaço de tempo. As estruturas internas, blindagens e equipamentos dentro da contenção formam volumes ou compartimentos confinados que ficam pressurizados devido a massa e energia liberadas. As paredes e os equipamentos dentro dos compartimentos são submetidos a níveis diferentes de pressão, ocasionando carregamentos e esforços não estáticos durante os transientes. A legislação de segurança de centrais nucleares exige que se determine a pressão diferencial entre os diferentes compartimentos e estruturas da contenção e que se faça

uma análise estrutural demonstrando a capacidade de suportar tais esforços [1,2].

Para se determinar o valor do pico de pressão e temperatura atingidos devido a esse acidente, deve-se levar em consideração a quantidade de massa de água e energia transferidas para a contenção durante o período de despressurização. Reatores de pequeno porte para propulsão naval apresentam em seu projeto um volume livre de contenção reduzido devido a indisponibilidade de grandes áreas nas embarcações. A razão entre a potência térmica produzida, ou o volume do circuito primário, e o volume livre da contenção em reatores navais apresenta valores elevados quando comparados com PWRs comerciais para a produção de energia elétrica. Como consequência, espera-se que para pequenas contenções a pressão atinja valores muito mais elevados.

Neste trabalho faz-se um estudo do pico de pressão que uma contenção de volume livre reduzido seria submetida no caso de ocorrer um acidente de perda de refrigerante do circuito primário tipo grande “LOCA” [1,2]. Utiliza-se nas análises os modelos para plantas comerciais onde as principais variáveis do problema são a massa e entalpia do refrigerante no circuito primário, o volume do circuito primário e o volume livre da contenção [3,4]. Inicialmente é apresentado o equacionamento do problema a partir do balanço macroscópico de massa e energia em função do tempo no volume da contenção. A seguir são apresentados resultados de picos de pressão para volumes de contenção reduzidos obtidos de curvas que são função da entalpia inicial do refrigerante no circuito primário e a razão entre os volumes do circuito primário e a contenção. Contenções de reatores PWR comerciais tem uma razão  $R_v$  entre 0,003 e 0,005 enquanto reatores navais tem razões entre 0,02 e 0,03. A diferença é cerca de uma ordem de magnitude indicando que a pressão máxima devido a um “LOCA” deve ser muito maior para uma instalação naval. Em seguida, são apresentados resultados obtidos em uma modelagem com o programa CONTEMP-LT [4] para plantas PWR em que a contenção varia desde de grandes volumes livres até volumes livres bastante reduzidos e, finalmente, são apresentadas as conclusões.

## II. ESTIMATIVA DA PRESSÃO NA CONTENÇÃO DEVIDO A UM “LOCA”

O acidente de perda de refrigerante devido a uma grande ruptura da tubulação no circuito primário de um PWR faz com que a massa de água existente neste circuito seja expandida para o volume livre da contenção. O refrigerante no circuito primário, antes do acidente, encontra-se pressurizado, em torno de 2200 psia, com temperatura em torno de 570 F e em condições sub-resfriadas. Havendo uma grande ruptura no circuito primário, como é postulado em acidentes tipo “LOCA”, todo o refrigerante expande através da ruptura ocupando o volume livre da contenção. O refrigerante, inicialmente em estado líquido, vaporiza na contenção e pressiona suas paredes que devem ser projetadas para suportar este esforço. Neste processo, o vapor na contenção pode se condensar tornando-se novamente líquido, trocar calor com as paredes da contenção e dos equipamentos dentro da contenção, normalmente em temperaturas muito mais baixas que a do vapor. Todos estes processos diminuem a pressão e a temperatura do vapor expandido na contenção.

Para se determinar a pressão e a temperatura na contenção após um “LOCA”, deve-se considerar o comportamento temporal da pressão, temperatura, massa e energia nos compartimentos que fazem parte da contenção; considerar a interação entre os compartimentos, como troca de massa e calor, considerar a troca de calor com estruturas que fazem parte da contenção e considerar a atuação de dispositivos de segurança como “sprays”, ventiladores etc.

Os modelos zero-dimensionais e bifásicos [4,5] utilizados para se determinar a pressão na contenção consideram as equações de conservação de massa e energia. Cada compartimento da contenção possui duas regiões separadas para representar o vapor e ar, na parte superior, e o líquido acumulado na parte inferior. A interação entre as duas regiões pode ser de evaporação, condensação, “bulk boiling” e troca de calor sensível através da interface, transferindo massa e energia entre elas. Pode haver troca de calor com estruturas como a parede da contenção, e troca de massa entre compartimentos por meio de quebras ou dutos.

Sejam as regiões de vapor e líquido no compartimento “n” identificadas pelos subscritos “v” e “l”, respectivamente. Assim, as equações de balanço macroscópico de massa e energia para este compartimento podem ser escritas como:

$$\frac{dM_{n,v}(t)}{dt} = \sum_m (f_{m \rightarrow n,v} W_{m \rightarrow n}(t) - f_{n \rightarrow m,v} W_{n \rightarrow m}(t) + W_{n,l \rightarrow v}(t) - W_{n,v \rightarrow l}(t)) \quad (1)$$

$$\frac{dM_{n,l}(t)}{dt} = \sum_m (f_{m \rightarrow n,l} W_{m \rightarrow n}(t) - f_{n \rightarrow m,l} W_{n \rightarrow m}(t) - W_{n,l \rightarrow v}(t) + W_{n,v \rightarrow l}(t)) \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} (M_{n,v}(t) u_{n,v}(t) + M_{n,a} c_{n,a} T_{n,v}(t)) =$$

$$\sum_m (f_{m \rightarrow n,v} W_{m \rightarrow n}(t) h_{m,v}(t) - f_{n \rightarrow m,v} W_{n \rightarrow m}(t) h_{n,v}(t) + u_{n,l}(t) W_{n,l \rightarrow v}(t) - u_{n,v}(t) W_{n,v \rightarrow l}(t) - Q_{n,v}(t)) \quad (3)$$

$$\frac{d(M_{n,l}(t) u_{n,l}(t))}{dt} =$$

$$\sum_m (f_{m \rightarrow n,l} W_{m \rightarrow n}(t) h_{m,l}(t) - f_{n \rightarrow m,l} W_{n \rightarrow m}(t) h_{n,l}(t) - u_{n,l}(t) W_{n,l \rightarrow v}(t) + u_{n,v}(t) W_{n,v \rightarrow l}(t) - Q_{n,l}(t)) \quad (4)$$

onde  $M_{n,v}$  é a massa de vapor no compartimento “n”;  
 $M_{n,l}$  é a massa de líquido no compartimento “n”;  
 $M_{n,a}$  é a massa de ar na região de vapor no compartimento “n”;  
 $f_{m \rightarrow n,v}$  é a fração de vapor da vazão total do compartimento “m” para o compartimento “n”;  
 $f_{m \rightarrow n,l}$  é a fração de líquido da vazão total do compartimento “m” para o compartimento “n”;  
 $W_{m \rightarrow n}$  é a vazão total de líquido e vapor do compartimento “m” para o compartimento “n”;  
 $W_{n,l \rightarrow v}$  é a vazão que se evapora da região de líquido para a região de vapor no compartimento “n”;

- $W_{n,v \rightarrow l}$  é a vazão que se condensa da região de vapor para a região de líquido no compartimento “n”;
- $u_{n,v}$  é a energia interna do vapor no compartimento “n”;
- $u_{n,l}$  é a energia interna do líquido no compartimento “n”;
- $c_{n,v}$  é o calor específico do ar na região de vapor do compartimento “n”;
- $T_{n,v}$  é a temperatura na região de vapor do compartimento “n”;
- $h_{n,v}$  é a entalpia do vapor no compartimento “n”;
- $h_{n,l}$  é a entalpia do líquido no compartimento “n”;
- $Q_{n,v}$  é o calor transferido através de estruturas existentes na região de vapor do compartimento “n”;
- $Q_{n,l}$  é o calor transferido através de estruturas existentes na região de líquido do compartimento “n”;

Nas regiões de líquido e de vapor considera-se a existência de uma mistura bifásica homogênea de vapor e líquido:

$$\begin{aligned} v_{n,v} &= (1 - x_{n,v})v_f(T_{n,v}) + x_{n,v}v_g(T_{n,v}) \\ v_{n,l} &= (1 - x_{n,l})v_f(T_{n,l}) + x_{n,l}v_g(T_{n,l}) \end{aligned} \quad (5)$$

onde  $v_{n,v}$  e  $v_{n,l}$  são os volumes específicos das regiões de vapor e líquido do compartimento “n”,  $v_f$  e  $v_g$  são os volumes específicos de líquido e vapor saturado na temperatura indicada e  $x_{n,l}$  e  $x_{n,v}$  são os títulos nas regiões indicadas nos subscritos.

As vazões entre os compartimentos podem ser calculadas de acordo com a evolução do transiente ou podem ser definidas externamente. No caso de um acidente tipo “LOCA”, a vazão de líquido e vapor para o compartimento da contenção,  $W_{m \rightarrow n}$ , é definida em dados de entrada.

O vapor produzido na região de líquido na forma de “bulk-boiling” (evaporação) é transferido para a região de vapor; o líquido na região de vapor (condensação) é transferido para a região de líquido. Neste processo há a transferência de massa e energia entre as duas regiões. As outras formas de troca de calor são calor sensível, via convecção devido a diferença entre as temperaturas da região de vapor e região de líquido, e calor latente devido a transferência de massa via gradiente de concentração molar do vapor.

A partir dos resultados de temperatura e volume específico obtém-se a pressão no compartimento utilizando as equações de estado para o vapor e para o ar,

$$p_{n,v}(t) = p(T_{n,v}(t), v_{n,v}(t)) + \frac{M_{n,a} R_a T_{n,v}(t)}{x_{n,v}(t) M_{n,v}(t) v_g(T_{n,v}(t))} \quad (6)$$

onde o primeiro termo corresponde a equação de estado de vapor e o segundo a equação de estado do ar, considerado como gás ideal.

### III. ESTIMATIVA DA PRESSÃO MÁXIMA EM CONTENÇÕES PEQUENAS A PARTIR DE RESULTADOS DE GRANDES CONTENÇÕES

Dados de pressões máximas em contenções oriundas de acidente de perda de refrigerante do tipo “LOCA” em função da entalpia do refrigerante no circuito primário e da razão entre os volumes do circuito primário e da contenção,  $R_v$ , foram coletadas da Ref. 3 e apresentados na Tabela 1. As entalpias e razões de volumes são referentes a reatores PWR comerciais que possuem grandes volumes livres em suas contenções. Estes resultados não consideram os mecanismos de troca de calor possíveis de ocorrer na contenção e que diminuem o pico de pressão.

Os dados na tabela encontram-se no intervalo entre 550 e 600 Btu/lbm, para entalpia, e entre 0,003 e 0,008, para a razão entre volumes de circuito primário e contenção. Estes resultados foram extrapolados para condições típicas de um reator naval onde a entalpia do refrigerante no circuito primário é mais baixa, da ordem de 490 Btu/lbm e a razão de volumes é maior que 0,02. Reatores navais apresentam uma densidade de potência mais baixa e volumes livres de contenção bem menores.

A extrapolação dos dados de pressão máxima foi feita em duas etapas: na primeira, ajustou-se um polinômio para a pressão máxima em função da entalpia para as razões de volumes apresentadas na Tabela 1 e, a seguir, extrapolou-se o valor de pressão máxima até a entalpia de 489 Btu/lbm; na segunda etapa, ajustou-se um polinômio para os valores de pressão máxima em função da razão de volume para as entalpias de 590, 570, 550 Btu/lbm e 489 Btu/lbm, obtida anteriormente; extrapolou-se depois os resultados até a razão de 0,03. A Tabela 2 apresenta estes resultados.

**TABELA 1 – Pressões máximas em contenções devido a um “LOCA” em função da entalpia do refrigerante no circuito primário e da razão entre os volumes do circuito primário e da contenção,  $R_v$ .**

$R_v$	Entalpia (Btu/lbm)					
	600	590	580	570	560	550
0.003	28.0	27.5	27.3	27.0	26.5	25.5
0.004	36.5	36.0	35.5	35.0	34.0	33.0
0.005	44.0	43.5	43.0	42.5	42.0	41.0
0.006	53.0	52.0	51.5	51.0	50.0	49.0
0.007	61.0	60.5	60.0	59.0	58.0	57.0
0.008	69.0	68.5	68.0	67.0	66.5	65.0

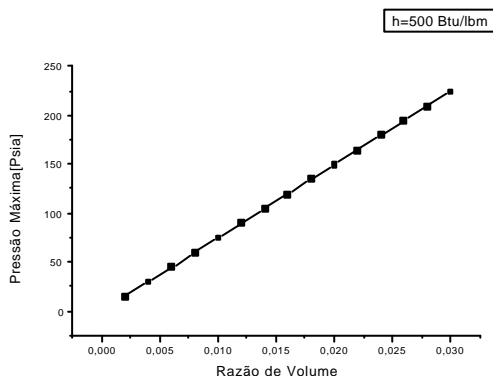
Fonte: Ref. 3.

A Figura 1 apresenta a curva ajustada, para entalpia de 500 Btu/lbm, da pressão máxima em função da razão entre o volume do circuito primário e volume livre da

contenção. Para um PWR comercial tem-se uma pressão máxima em torno de 45 psia, enquanto que para uma instalação naval, com uma razão de volumes de 0,025, tem-se uma pressão máxima em torno de 185 psia.

**TABELA 2 – Valores ajustados de pressão máxima na contenção devido a um “LOCA” em função da razão de volumes  $R_v$ , e da entalpia do refrigerante no primário.**

$R_v$	Entalpia (Btu/lbm)			
	590	570	550	489
0,002	19,5	19,0	17,3	15,0
0,004	35,7	35,3	33,1	29,9
0,008	68,0	67,0	64,9	59,8
0,010	84,2	83,0	80,7	74,7
0,016	132,7	131,1	128,3	119,6
0,020	165,1	163,0	160,0	149,4
0,022	181,2	179,2	175,9	164,4
0,024	197,4	195,4	191,7	179,3
0,030	245,9	243,0	239,3	224,1



**FIGURA 1 – Ajuste da pressão máxima na contenção devido a um “LOCA” em função da razão entre os volumes do circuito primário e da contenção.**

Os resultados extrapolados acima, obtidos com ajustes de polinômios, é dependente dos coeficientes de ajustes e dos valores utilizados. Como os valores utilizados foram obtidos para razões em torno de 0,005 e os resultados de interesse tem razões de volume maiores que 0,02, torna-se necessário avaliar melhor estes resultados. Isto é feito a seguir utilizando o programa CONTEMP-LT [4].

#### IV. ESTIMATIVA DA PRESSÃO NA CONTENÇÃO COM O PROGRAMA CONTEMP-LT

O programa CONTEMP-LT [4] foi desenvolvido para estimar o comportamento de longo

prazo de uma contenção de LWR em consequência a um acidente de perda de refrigerante tipo “LOCA”. O programa calcula o comportamento temporal das variáveis pressão, temperatura, massa e energia nos compartimentos que fazem parte da contenção; considera a interação entre os compartimentos, como troca de massa e calor, troca de calor com estruturas que fazem parte da contenção e a atuação de dispositivos como “sprays” e ventiladores. A contenção pode ter até 4 compartimentos distintos. Cada compartimento possui duas regiões separadas para representar o vapor e ar, na parte superior, e o líquido acumulado na parte inferior, conforme apresentado na Seção II.

No programa CONTEMP-LT, as Eqs. 1 a 5 são resolvidas assumindo uma aproximação quase-estática na qual as derivadas temporais são calculadas por meio de diferença finita explícita. A solução das equações é feita de forma iterativa assumindo um valor inicial para a temperatura e o volume específico, determinando a seguir as propriedades da água título, entalpia e energia interna. A temperatura é modificada de acordo com os resultados e os cálculos são feitos até que a diferença entre os valores entre duas iterações sucessivas é menor que uma dada tolerância. A pressão na contenção, determinada como a pressão termodinâmica, é fornecida pela Eq. (6).

O programa CONTEMP-LT é utilizado para análise de contenções de PWR que apresentam grandes volumes livres[3,4]. Sua validação, entretanto, incluiu experimentos que apresentavam vários compartimentos com volumes livres pequenos, correspondendo à razões de volume,  $R_v$ , superiores a 0,03, e apresentou uma boa concordância para os valores de pressão em função do tempo [5]. Para se estudar o comportamento da pressão máxima em reatores com razões de volumes,  $R_v$ , variando de 0,005 a 0,03 construiu-se um conjunto de dados, apresentados na Tabela 3, para instalações com  $R_v$  intermediárias.

**TABELA 3 – Volumes da contenção e do circuito primário, massas de água do circuito primário para dez razões de volume  $R_v$  escolhidas.**

$R_v$	$V_{cont}$ [ft <sup>3</sup> ]	$V_{primari}$ [ft <sup>3</sup> ]	Massa [Kg]
0,005	2,6+6*	1,3+4	241,7+3
0,006	1,97+6	1,18+4	219,87+3
0,007	1,49+6	9,17+3	194,4+3
0,008	1,13+6	9,05+3	168,3+3
0,010	6,5+5	6,49+3	120,24+3
0,015	1,62+5	2,43+3	45,27+3
0,020	4,06+4	8,11+2	15,12+3
0,023	1,77+4	4,06+2	7,56+3
0,025	1,014+4	2,53+2	4,68+3
0,030	2,54+3	7,62+1	1,42+3

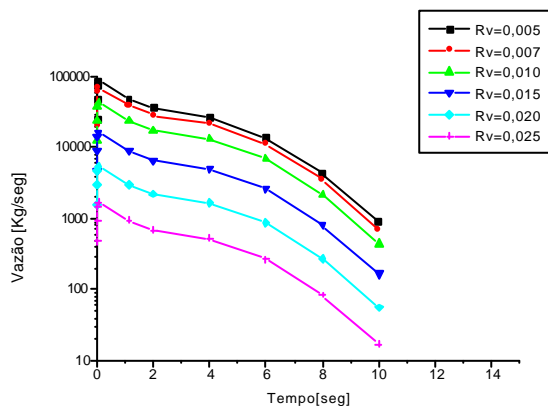
\* 2,6+6 lê-se  $2,6 \times 10^6$ .

A massa de água total, existente no circuito primário antes de ocorrer o “LOCA”, os volumes da contenção e do primário para dez razões  $R_v$  diferentes também encontram-se na Tabela 3. Estas razões de volume são representativas de instalações de grande porte, médio porte e navais [2,3,4].

O comportamento temporal da descarga foi tomado das Refs. 6 e 7; as descargas em função do tempo são tais que integradas no tempo reproduzem as massas de água apresentadas na Tabela 3. Algumas das descargas encontram-se na Figura 2, onde o tempo de descarga é de cerca de 13 s. Nota-se que a vazão atinge valores muito elevados no início e depois cai numa taxa mais lenta até atingir valores nulos, o valor máximo de vazão atinge cerca de 80000 kg/s para reatores de grande porte e 4000 kg/s para reatores navais.

Foram feitas simulações para os dez casos apresentados Tabela 3, cada um correspondente à uma razão de volumes. Tentando reproduzir as condições analisadas na Seção III, não foram consideradas a troca de calor com as estruturas presentes ou qualquer dispositivo de segurança para promover a supressão do pico de pressão durante o acidente postulado. Considerou-se um tempo total de transiente de 25 s com cálculos sendo feitos em intervalos de tempo de 0,05 s.

As evoluções temporais da pressão e da temperatura na contenção em função do tempo para 6 casos diferentes são apresentadas nas Figuras 3 e 4. Os comportamentos são semelhantes para ambas as variáveis, atingindo um patamar de máximo, assintoticamente, a partir de 13 s. Como não há troca de calor com o ambiente, situação adiabática, a temperatura e a pressão se estabilizam nesses valores elevados. A consideração destes fenômenos faria com que elas atingissem um pico mais baixo e caíssem a seguir.

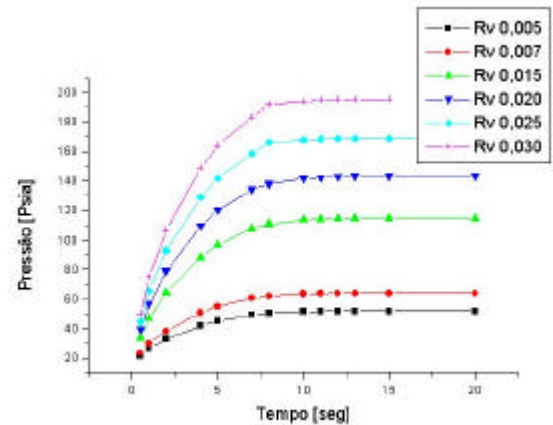


**FIGURA 2 – Vazões de descarga devido a um “LOCA” para várias razões entre volumes do circuito primário e da contenção.**

Para grandes contenções, como para  $R_v$  de 0,005, a pressão máxima atinge 52 psia enquanto que para contenções pequenas, como  $R_v$  de 0,03, a pressão máxima atinge 198 psia.

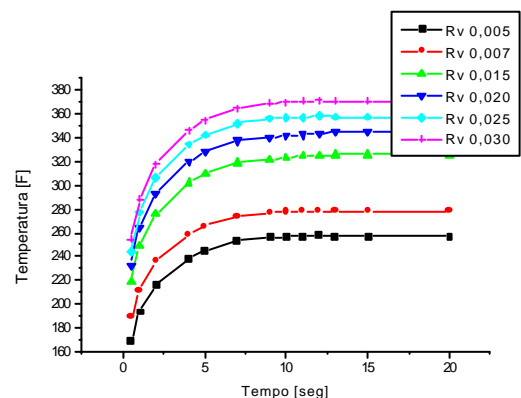
Os valores de temperatura e pressão máximas no ambiente da contenção, após o período de descompressão,

em função da razão de volumes são apresentadas nas Figuras 5 e 6. Em relação a temperatura vê-se que a medida que a contenção se torna menor (maior razão de volume) seus valores aumentam com menor intensidade.



**FIGURA 3 – Pressão na contenção em função do tempo para várias razões entre volume do primário e contenção.**

Em relação ao comportamento da pressão em função da razão de volume, este se parece linear conforme foi estimado anteriormente na Seção II a partir dos resultados de reatores grande fornecidos por Slaughterbeck [2]. Nota-se na Figura 6, entretanto, que as curvas obtidas na Seção 2 e com o programa CONTEMP-LT se cruzam em torno de uma razão de volume de 0,017, indicando que os resultados de pressão do programa crescem numa taxa menor com relação a  $R_v$ . Os resultados do CONTEMP-LT de pressão máxima na contenção são maiores para reatores de grande porte e menores para reatores de pequeno porte e navais.



**FIGURA 4 – Temperatura na contenção em função do tempo para várias razões entre volume do primário e contenção.**

## V. CONCLUSÕES

Estudou-se o comportamento da pressão e da temperatura em função do tamanho da contenção do reator devido acidentes tipo “LOCA”. Considerou-se contenções

de acordo com o porte do reator, isto é, grande porte, médio porte e naval. Procurou-se construir um conjunto de dados que representasse de forma realista a relação entre os volumes do circuito primário e da contenção para estes reatores. A pressão máxima na contenção foi estimada em função da razão entre os volumes do circuito primário e da contenção, pois esta razão pode caracterizar adequadamente a potência do reator e a sua contenção.

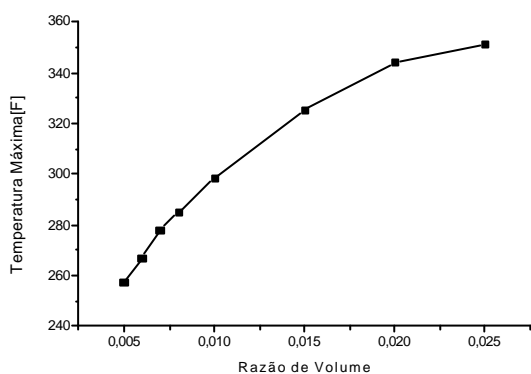


FIGURA 5 – Temperaturas máximas em função da razão entre volumes do primário e da contenção para acidentes tipo “LOCA”.

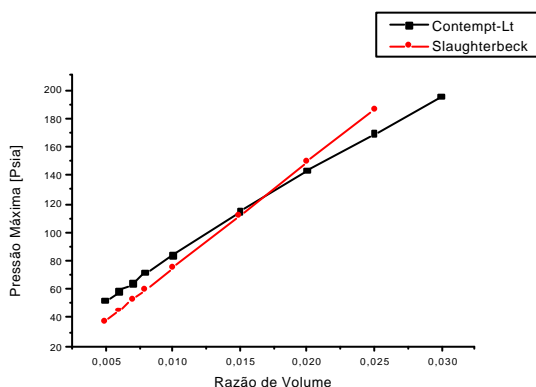


FIGURA 6 – Pressões máximas em função da razão entre volumes do primário e da contenção para acidentes tipo “LOCA”.

Utilizando resultados calculados para contenções com grandes volumes livres, onde nenhuma troca de calor foi considerada, extrapolou-se para contenções de volumes pequenos. Para uma razão de volumes  $R_v$  de 0,025 obteve-se uma pressão máxima em torno de 185 psia. Utilizando o programa CONTEMPT-LT para condições semelhantes obteve-se uma pressão máxima em torno de 162 psia e temperatura máxima em torno de 350 °F. A consideração de troca de calor diminuiria os valores máximos de pressão e temperatura na contenção. Reatores de grande porte apresentam pressões máximas na contenção na ordem de 52 psia.

Os resultados extrapolados da Seção 2 e os obtidos com o programa CONTEMPT-LT para a pressão máxima em função da razão de volumes apresentam um

comportamento quase linear. Entretanto, as inclinações são diferentes e os resultados do CONTEMPT-LT são inferiores que os extrapolados para reatores pequenos. A temperatura máxima na contenção aumenta com menor intensidade a medida que a contenção se torna menor (maior razão de volume), tendendo a um valor máximo assintoticamente.

## REFERÊNCIAS

1. US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **Standard Technical Specification, Westinghouse Plants, Revision 1**, NUREG-1431, Abril de 1995.
2. E.E. Lewis, **Nuclear Power Reactor Safety**, cap. 9, pag.434, John Wiley & Sons, New York, 1977.
3. D.C. Slaughterbeck, **Correlations to Predict The Maximum Containment Pressure Following a Loss of Coolant Accident in Large Pressurized Reactors with Dry Containments**, Idaho Nuclear Corporation Report, IN-1468, 1971.
4. L.L. Wheat, R.J. Wagner, G.F. Niederauer, C.F. Obenchain, **CONTEMPT-LT, A Computer Program For Predicting Containment Pressure-Temperature Response To Loss Of Coolant Accident**, Aerojet Nuclear Company, TID 4500, 1975.
5. W. J. Mings e J. I. Mills, **Containment code developmental verification at INEL**, Proceedings of the Topical Meeting on Thermal Reactor Safety, Eastern Idaho Section, American Nuclear Society, 1978
6. A L. de Souza, **Análise da contenção da INAP**, Rel. Técnico PSE.RAT.COPESP.002, RELT.001.R01, 1996.
7. A. S. Dutra, **Memorial de cálculo para contenção**, Rel. Técnico CTMSP, 1997.

## ABSTRACT

This work studies the problem of containment pressurization after a LOCA in reactors with small containment free volumes. The relationship between the reactor power and the containment free volume is described with the ratio between the volumes of the primary circuit and of the containment. The maximum pressure in a containment, following a LOCA, obtained after a correlation based on large containment PWRs, is around 185 psia for a primary circuit and containment volumes ratio of 0.025. For the same problem, calculations with the CONTEMPT-LT code produced a maximum pressure of 162 psia. The behavior of the temperature after a LOCA to the containment, as a function of the ratio between the primary circuit and containment volumes, is such that it increases reaching asymptotically to a maximum; differently, the pressure increases almost linearly with the ratio of volumes.