

ANÁLISE COMPARATIVA E COMPORTAMENTAL DAS CORRELAÇÕES DE FLUXO CRÍTICO DE CALOR W-3 E EPRI EM REATORES PWR.

Eduardo Maprelian

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Travessa R, 400 - Caixa Postal 11049
São Paulo - SP

RESUMO

Neste trabalho é analisado o comportamento das correlações de fluxo crítico de calor W-3 e EPRI, em função da pressão de operação, através de resultados experimentais de seções de testes. As conclusões permitem uma melhor definição das correlações utilizadas no levantamento das curvas de proteção de reatores PWR.

INTRODUÇÃO

As curvas de proteção de sobrepotência e sobretemperatura são ferramentas muito usuais em sistemas de proteção de plantas PWR.

Para o levantamento das curvas de sobretemperatura é necessário a utilização de correlações de fluxo crítico, tais como a W-3 [1] e a EPRI [2]. Estes limites termohidráulicos são obtidos com a elevação da temperatura de entrada do refrigerante no núcleo para cada condição fixa de potência, pressão e vazão.

Neste trabalho procura-se abordar a influência da pressão de operação sobre o fluxo crítico de calor, ou mais especificamente sobre a temperatura de entrada do refrigerante necessária para ser atingida esta condição. Através deste estudo verifica-se então, os comportamentos das correlações W-3 e EPRI quando utilizadas para o levantamento das curvas de proteção de reatores PWR.

A justificativa para esta análise pode ser ressaltada através das figuras 1 e 2. Estas figuras apresentam as curvas de temperaturas de entrada em função da pressão, em condições de fluxo crítico de calor, para um reator de referência da Westinghouse [3]. Os cálculos com as correlações W-3 e EPRI, foram executados com o auxílio do código COBRA3P [4] para fluxos de massa de 1500 (figura 1) e 2860 kg/sm² (figura 2).

Nestas figuras observaram-se sensíveis alterações no comportamento do DNBR (ou na temperatura de entrada necessária para o DNB) em função da pressão de operação, calculados pelas duas correlações, quando da mudança do fluxo de massa.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO

Para a verificação do comportamento das correlações W3 e EPRI são utilizados dados de uma seção de testes experimentais para simulação de núcleos de PWRs da Columbia

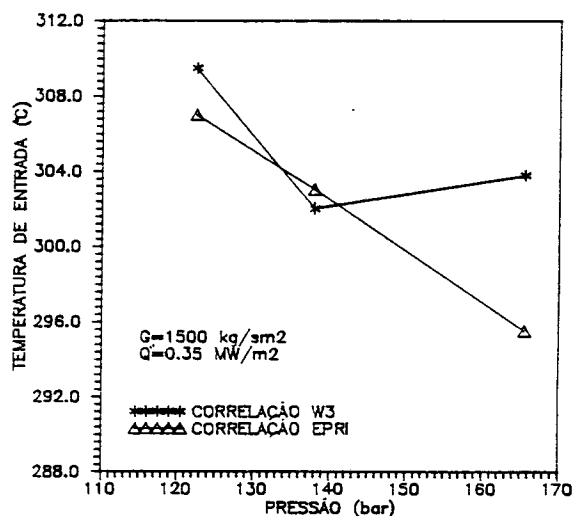


Fig 1 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Reator Westinghouse Fluxo de massa 1500 kg/sm².

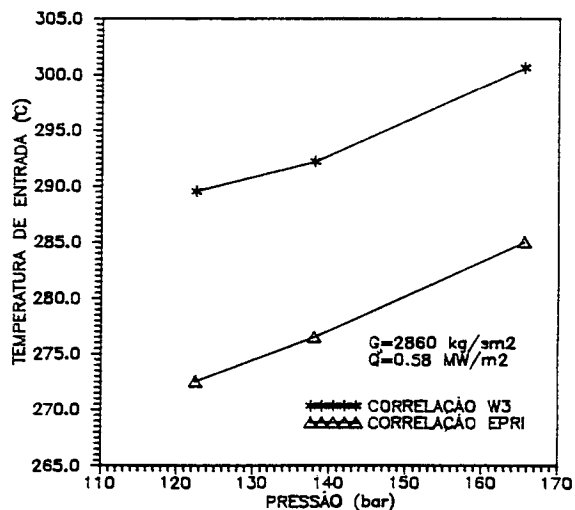


Fig 2 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Reator Westinghouse Fluxo de massa 2860 kg/sm².

University⁽²⁾. A tabela 1 apresenta as informações básicas desta seção. Os cálculos com as correlações W-3 e EPRI são executados com o auxílio do código COBRA3P.

São utilizados também dados experimentais em tubos circulares publicados pela Academia de Ciências da União Soviética⁽⁵⁾. Estes dados permitem a verificação do comportamento experimental do fluxo crítico de calor em função da pressão, velocidade e estado do refrigerante.

Tabela 1 - Informações da Seção de Testes.

# de varetas aquecidas	21
passo (mm)	14.73
Diâmetro das varetas (mm)	11.18
Comprimento aquecido (mm)	1219.2
Distr. axial de potência	uniforme

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

ACADEMIA DA URSS: Neste item realizou-se uma análise paramétrica da pressão sobre a temperatura de entrada do refrigerante necessária para ser atingida a condição de fluxo crítico de calor, em distintas condições de fluxo de massa e de estado.

Para esta análise foram selecionados valores experimentais da referência [4], para condições fixas de fluxo de calor e fluxo de massa. As temperaturas de entrada foram obtidas por balanço térmico ($q''=m\Delta h$), assumindo-se um tubo hipotético de 8 mm de diâmetro e 500 mm de comprimento aquecido.

Os resultados para condições de escoamentos monofásico e bifásico em duas condições distintas de vazão são apresentados nas figuras 3 e 4 respectivamente.

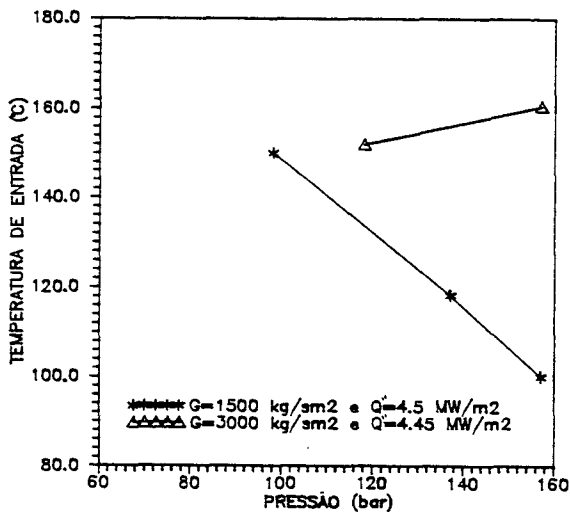


Fig 3 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Academia da URSS escoamento monofásico.

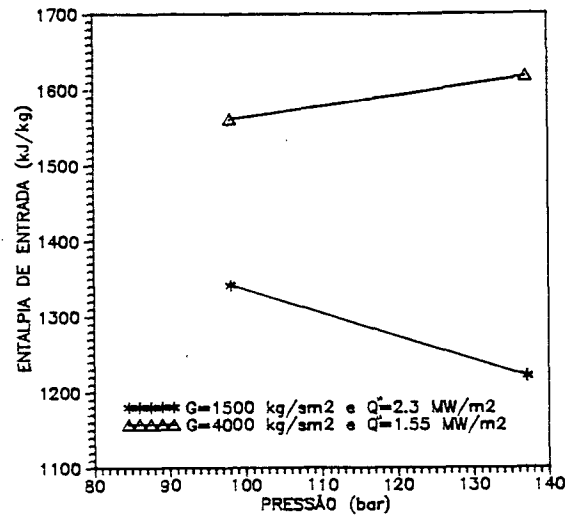


Fig 4 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Academia da URSS escoamento bifásico.

Destes resultados observa-se uma tendência de diminuição da temperatura de entrada necessária ao fluxo crítico em relação ao aumento da pressão de operação para fluxos de massa da ordem de 1500 kg/sm², tanto em escoamento monofásico quanto em bifásico. Para fluxos de massa maiores, ou seja, de 3000 e 4000 kg/sm² observa-se uma inversão neste comportamento nos dois estados verificados.

Seção Columbia TS53: Nesta seção também foram escolhidos casos com fluxos de calor e massa constantes para a verificação da temperatura de entrada em função da pressão.

Os resultados são apresentados nas figuras 5, 6 e 7 para tres condições distintas de vazão. Estes figuras fornecem os valores experimentais medidos na seção de testes para a condição de fluxo crítico de calor e os valores calculados pelas correlações W-3 e EPRI.

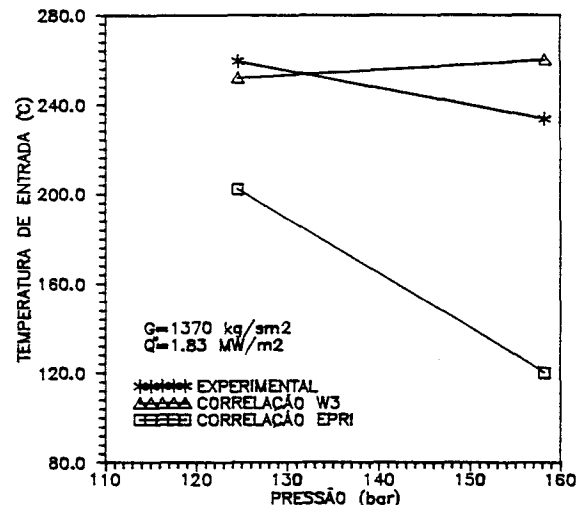


Fig 5 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Seção TS 53 Fluxo de massa 1370 kg/sm².

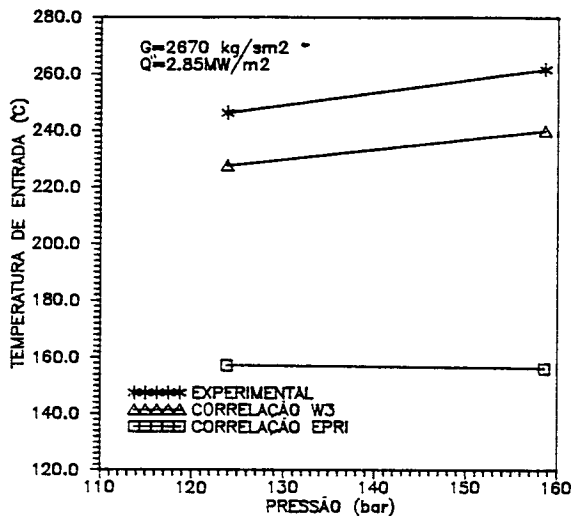


Fig 6 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Seção TS 53 Fluxo de massa 2670 kg/sm².

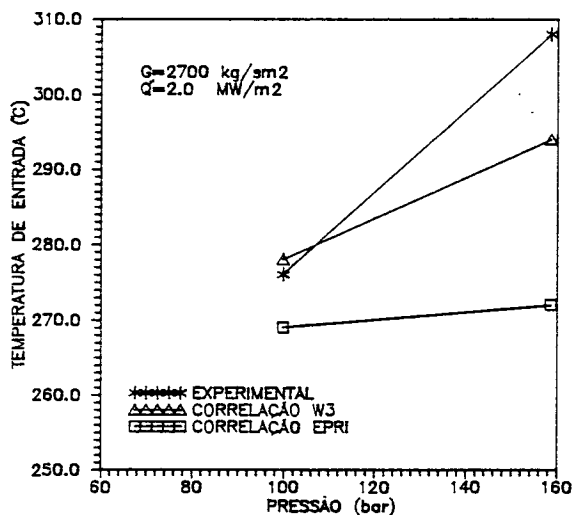


Fig 7 Temperatura de entrada x pressão para fluxo crítico de calor - Seção TS 53 Fluxo de massa 2700 kg/sm².

As tendências do comportamento experimental da temperatura de entrada em função da pressão são as mesmas observadas na Academia da URSS, ou seja para fluxos de massa menores (1370 kg/sm²) verifica-se uma diminuição na temperatura de entrada com o aumento da pressão, ao passo que para fluxos um pouco mais elevados (2670 e 2700 kg/sm²) verifica-se o oposto.

A correlação W-3 apresenta um comportamento satisfatório para os fluxos de massa da ordem de 2700 kg/sm², porém para o fluxo de 1370 kg/sm² apresenta tendência oposta à experimental.

Na correlação EPRI a tendência de comportamento é de forma geral coerente com a experimental para as duas ordens de fluxo de massa, porém, é verificada uma grande discrepância quantitativa nas temperaturas de entrada principalmente para pressões mais elevadas.

CONCLUSÕES

Dos resultados experimentais e calculados com as correlações empíricas observa-se:

-A influência da pressão sobre o fluxo crítico de calor, ou sobre a temperatura de entrada necessária para o mesmo, mostra-se bastante dependente da velocidade de escoamento do refrigerante.

Para fluxos de massa da ordem de 1500 kg/sm², considerados um pouco baixos para um PWR comercial, a elevação da pressão implica em uma redução na temperatura de entrada necessária para a ocorrência do fluxo crítico, ou seja uma condição mais desfavorável para a operação.

Para fluxos de massa maiores (de 2700 a 4000 kg/sm²) a elevação da pressão de operação implica em um aumento na temperatura de entrada para o fluxo crítico, o que significa uma condição mais favorável em relação ao fluxo crítico de calor.

Apesar do estado do refrigerante ser um fator de grande influência sobre o fluxo crítico de calor, a mudança de estado não influencia significativamente no comportamento do mesmo em função da pressão de operação.

-Com relação à utilização das correlações W-3 e EPRI para o auxílio no levantamento das curvas de sobretemperatura, apesar dos poucos casos analisados, pode-se dizer que:

A correlação W-3 mostra-se satisfatória para fluxos de massa da ordem de 3000 kg/sm², usuais em reatores PWR comerciais. Não sendo, no entanto, recomendada para fluxos de massa mais baixos (1500 kg/sm²).

A correlação EPRI apesar de ser bastante aceitável para a previsão do DNB, não se mostra satisfatória no que se refere ao levantamento das curvas de sobrepotência, devido às grandes discrepâncias numéricas com os valores experimentais de temperaturas de entrada necessárias para o DNB.

Portanto para condições de velocidade mais baixas no núcleo nenhuma das duas correlações analisadas mostra-se adequada para o levantamento das curvas de proteção.

REFERÊNCIAS

- [1] TONG, L.S., Prediction of departure form nucleate boiling for an axially non-uniform heat flux distribution. Journal of Nuclear Energy, 6(21):241-248, 1967.
- [2] FIGHETTI, C.F., Reddy, D.G., Parametric Study of CHF Data. Vol. 1-3. Columbia University, New York, NY, 1983 (EPRI-NP-2609).
- [3] ELLENBERGER, S.L. et alli, Design Bases for the Thermal Overpower ΔT and Thermal Overtemperature ΔT Trip Functions. Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, 1977 (WCAP-8746).

[4] MASTERSON, R.E., COBRA-3P: An improved version of COBRA for full core light water reactor analysis, Nuclear Eng. and Design, 48:293-310, 1978.

[5] DOROSHCHUK V.E. et alii. Tabular data for calculating burnout when boiling water in uniformly heated round tubes Thermal Engineering, 23(9):77-79, 1976.

ABSTRACT

The present work presents a comparison between the W3 and EPRI correlations for critical heat flux. Experimental data were used in order to verify the behavior of the above-mentioned correlations. The conclusions presented in this work allow a better definition of the correlations for the operating safety limits calculations of a PWR type reactor.