

EBULIÇÃO NUCLEADA DE MISTURAS BINÁRIAS ZEOTRÓPICAS

Ferruccio O. Martin Jr, Angela R. Schlindwein e Eduardo L. da Silva e Júlio C. Passos

UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica.
LabSolar/NCTS – Laboratório de Energia Solar e Núcleo de Controle Térmico de Satélites
EMC - Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC
E-mail para correspondência: jpassos@emc.ufsc.br

Introdução e Objetivos

Com a crescente evolução tecnológica dos componentes eletrônicos, a capacidade de processamento dos computadores foi bastante ampliada e acompanhada de uma tendência à fabricação de dispositivos e equipamentos cada vez menores e mais compactos, obrigando, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de novos sistemas e processos de resfriamento. Os processos de transferência de calor com mudança de fase, condensação e ebulição, destacam-se por possibilitar a transferência de elevados fluxos de calor sem que aumente muito a diferença de temperatura entre a superfície a ser resfriada e a temperatura de saturação do fluido de resfriamento. A ebulição nucleada, Carey (1992), de misturas binárias, apesar de apresentar uma diminuição no coeficiente de transferência de calor, quando comparado aos fluidos puros que compõem a mistura, possibilitam aplicações para diferentes concentrações molares e temperaturas de operação, no intervalo das temperaturas de saturação dos dois componentes, mantida a pressão constante, tornando-se uma solução rápida em distintas aplicações.

Neste artigo, são apresentados novos resultados experimentais para a transferência de calor, no regime de ebulição nucleada, à pressão atmosférica, da mistura binária zeotrópica dos fluidos dielétricos FC-87 e FC-72, para seis concentrações molares de FC-87 (0, 15, 25, 50, 75 e 100%). Os resultados experimentais para o coeficiente de transferência de calor são comparados com os valores previstos por modelos e correlações da literatura.

Aparato Experimental

A ebulição nucleada da mistura binária de FC-72 e FC-87, à pressão atmosférica, foi estudada, em função da concentração molar de FC-87, em um disco de cobre de 12 mm de diâmetro e 1 mm de espessura, voltado para cima, conforme esquematizado nas Figs. 1 e 2. O aquecimento do disco foi obtido por meio de uma resistência elétrica do tipo “Skin Heater”, colada ao disco por meio de resina epóxi. A temperatura do disco média e, aproximadamente, a da superfície de cobre em contato com o fluido de resfriamento foi medida por meio de três termopares do tipo E, com fios de 0,15 mm de diâmetro, cujas junções de medição estão fixadas e inseridas no disco de cobre, próximas do centro. A seção de teste está em contato com a mistura de fluido refrigerante, no interior de uma câmara de ebulição, cujas paredes laterais são de vidro transparente, conforme esquematizado na Fig. 1. A temperatura média do fluido de resfriamento é mantida próxima da de saturação, no caso dos fluidos puros, ou da temperatura de bolha, no caso da mistura, por meio de um escoamento de água através de uma cuba que envolve a câmara de ebulição e cujas paredes laterais são de acrílico transparente, conforme Fig. 1. A temperatura da água é controlada por um criostato da marca Microquímica, modelo MQBTC99-20. Na câmara de ebulição, na parte superior, está montada uma serpentina, em cuja parede externa ocorre a condensação do vapor devido ao resfriamento com água escoando em seu interior, ver Fig. 1. A temperatura da água de resfriamento da serpentina é controlada por um segundo criostato da marca Microquímica, modelo MQBMP-01. A câmara de ebulição é hermeticamente fechada e esta condição é verificada através de testes de vazamento.

Metodologia e Procedimento Experimentais

Antes do procedimento de teste, a bancada era evacuada para carregamento do fluido de resfriamento, garantindo assim a não contaminação do ambiente de teste com ar ou outros componentes. Logo após, através do aumento da temperatura do banho externo de água, atinge-se as condições de saturação do fluido puro ou de temperatura de bolha, para a mistura, à pressão atmosférica. Essa condição é garantida por meio da medição da pressão através de um transdutor, da marca Omega, modelo PX821, com faixa de

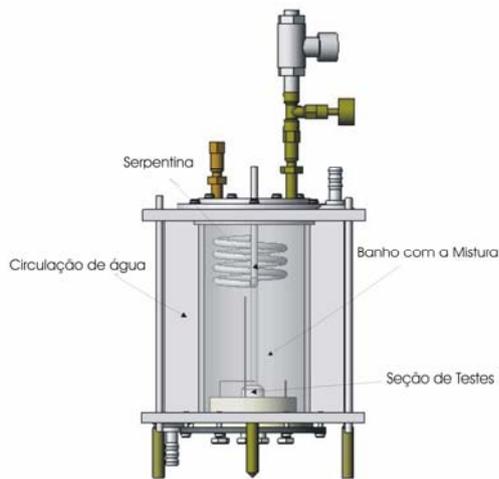


Figura 1 – Esquema do aparato experimental

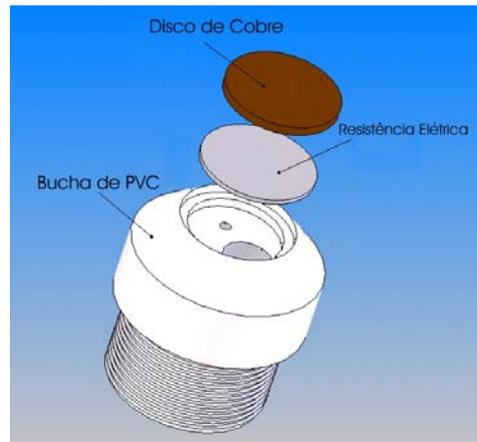


Figura 2 – Seção de Teste

operação entre 0 e 68947.9 Pa (= 0 e 10 psi), e também através dos valores da temperatura do fluido, nas regiões de líquido e de vapor. Atingidas estas condições, o teste era iniciado varrendo a faixa de fluxo de calor entre 0 e 40 kW/m². Além dos três termopares, no disco, outros quatro termopares do tipo E medem as temperaturas do fluido, em dois pontos no líquido, um próximo da placa e outro, longe da placa, e dois no vapor.

O coeficiente de transferência de calor experimental da mistura é a razão entre o fluxo de calor e a diferença de temperaturas entre a superfície do disco e a temperatura de bolha, ou de saturação, no caso dos fluidos puros, conforme Eq. (1), abaixo.

$$h = \frac{q''}{(T_{\text{sup}} - T_{\text{bolha}})} \quad (1)$$

onde h representa o coeficiente de transferência de calor experimental, em W/(m²K), q'' o fluxo de calor em kW/m², T_{sup} a temperatura do disco de cobre, em K, e T_{bolha} a temperatura de bolha da mistura ou de saturação para os fluidos puros, em K.

Os resultados experimentais do coeficiente de transferência de calor por ebulição foram comparados com os valores previstos pelas correlações empíricas da literatura.

Resultados e Conclusões.

Os resultados da ebulição da mistura zeotrópica FC-72/FC-87 e dos fluidos puros foram comparados com as seguintes correlações empíricas: Stephan e Abdelsalam (1978); Cooper (1984); Fujita et al (apud Rohsenow et al, 1998); Fujita e Tsutsui (2003).

A análise dessas comparações mostrou que o desvio entre o coeficiente de transferência de calor teórico e o experimental não excedeu 25%.

Referências Bibliográficas

- Carey, V. P., "Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena: an introduction to the thermophysics of vaporization and condensation process in heat transfer equipment", Taylor & Francis, 1992.
- Cooper, M.G., "Saturation Nucleate Pool Boiling – A Simple Correlation", International Chemical Engineering Symposium Series, vol 86, pp 785-792,1984.
- Fujita, Y. and Tsutsui, M., "Fully Developed Nucleate Boiling of Three Components Mixtures", Key Note, 5th International Conference on Boiling Heat Transfer, Montego Bay, Jamaica, 04-08 May, 2003.
- Rohsenow, W.M., Hartnett, J.P., Cho, Y.I., "Handbook of Heat Transfer", 3rd ed., McGraw-Hill, pp. 15.51-15.53,1998.
- Sthephan K. and Abdelsalam, M., "Heat-Transfer Correlation For Natural Convection Boiling", International Journal Heat Mass Transfer, Vol 23, pp.73-78, 1978.