



## DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO ÓPTICO NÃO INTRUSIVO PARA DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DE FILMES LÍQUIDOS EM ESCOAMENTOS ANULARES

**Francisco Júlio do Nascimento, Gherhardt Ribatski**

Departamento de Engenharia Mecânica – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – Av.  
Trabalhador São-carlense, 400 – São Carlos – SP – CEP: 13566-970  
chicopombos@yahoo.com.br

### RESUMO

O desenvolvimento de técnicas de medição e modelos para caracterização de filmes líquidos é relevante em aplicações relacionadas à geração de energia, transporte e refino de óleos, processos químicos, indústria de alimentos, processos de dessalinização da água e aos setores de refrigeração e ar-condicionado. Em processos de transferência de calor baseados na evaporação ou na condensação envolvendo películas de líquido, a resistência térmica está relacionada à espessura do filme. Estes processos são verificados em equipamentos envolvendo a evaporação e a condensação convectiva interna e externamente a tubos na presença do padrão anular (Ribatski and Thome, 2007), a evaporação e a condensação em película descendente (Ribatski and Jacobi, 2005) na qual o escoamento do fluido ocorre por efeitos de gravidade, e no resfriamento através de jatos evaporativos (Ribatski *et al.*, 2007). No caso da ebulição convectiva no interior de canais (ou tubos) a evaporação de um filme líquido apresenta-se como principal mecanismo de transferência de calor tanto em macro- (diâmetro hidráulico  $\geq 3$  mm) como em micro-canais (diâmetro hidráulico  $< 3$  mm).

Esta pesquisa, baseada no trabalho de Shedd (1998), trata do desenvolvimento de um método óptico, automático e não intrusivo para determinação dinâmica em escoamentos anulares (líquido-vapor) da espessura do filme líquido, e, conseqüentemente, da fração de vazio superficial e das velocidades das fases. O método proposto proporciona incertezas na medição de cerca de  $10\mu\text{m}$  e aplica-se quando radiação é transmitida a partir de um meio a outro com índice de refração inferior ao primeiro. Ele basea-se no fato da intensidade da luz incidente refletida por uma interface permanecer desprezível até que o ângulo de incidência aproxime-se do ângulo crítico, a partir do qual a intensidade da luz refletida eleva-se rapidamente. Considerando este princípio propõe-se a construção de um dispositivo, ilustrado esquematicamente na Figura 1, envolvendo uma fonte difusa de luz, posicionada próxima à seção de visualização do escoamento no interior da qual será imposto um padrão anular. A luz refletida a partir da interface líquido-vapor gerará uma imagem em uma superfície translúcida, a qual será adquirida por uma Webcam e processada através de um programa (baseado no *Labview* usando ferramentas do *NI Vision*) cujo desenvolvimento é também parte da pesquisa. Tal processamento terá como objetivo determinar a distância,  $\lambda$ , entre o emissor e a região na superfície translúcida caracterizada por gradientes elevados na luz incidente e relacionada ao ângulo crítico de reflexão,  $\beta$ , conforme ilustrado na Figura 1. A partir deste resultado, conhecendo-se dimensões e distâncias características do sistema de medida e os índices de refração do vidro e do fluido nos estados de vapor e líquido, será possível através de relações geométricas determinar a espessura do filme líquido. A rotação do sistema de medida permitirá avaliar a espessura do filme ao longo do perímetro da seção de visualização. Ensaios serão realizados com o R134a para uma superfície horizontal com diâmetro de 9,5 mm na bancada para o estudo da ebulição convectiva em macro-canais.

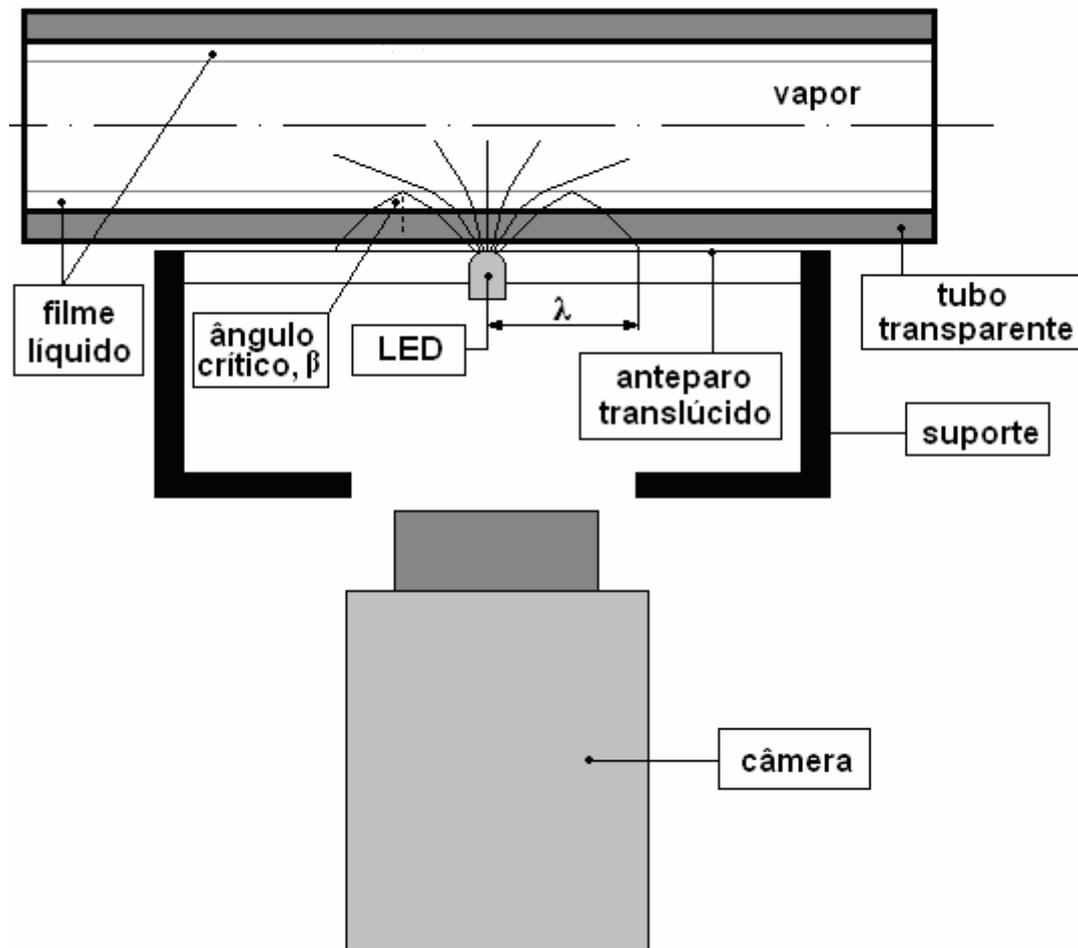


Figura 1: Ilustração esquemática do dispositivo de medida para determinação da espessura de filmes líquidos em escoamentos anulares líquido/vapor.

O método proposto, uma vez desenvolvido, será uma valiosa ferramenta nos estudos realizados pelo grupo de transferência de calor e massa do Laboratório de Termos-Fluidos da EESC, podendo ser ainda utilizado na detecção de condições de secagem de parede e na avaliação da ondulação do filme em escoamentos anulares. Além disso, após aprimoramentos, acredita-se ser possível utilizar sistema similar na bancada para o estudo da ebulição convectiva em micro-canais em construção no Laboratório de Termos-Fluidos da EESC.

## REFERÊNCIAS

- Ribatski, G. and Thome, J. R. ., 2007, "Two-phase flow and heat transfer across horizontal tube bundles-a review". *Heat Transfer Engineering*, v. 28, n. 6, pp. 508-524.
- Ribatski, G. and Jacobi, A. M., 2005, "Falling-film evaporation on horizontal tubes - a critical review". *International Journal of Refrigeration*, v. 28, pp. 635-653.
- Ribatski, G., Gómez, L. C., Navarro, H. A. and Jabardo, J. M. S., 2007, "The advantages of evaporation in micro-scale channels to cool microelectronic devices", *Engenharia Térmica RETERM*, (em avaliação).
- Shedd, T. A., 1998, "An automated optical liquid film thickness measurement method", Master's Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.