

Calibração e aplicação da técnica de termografia de fluidos por fluorescência induzida por laser

Pedro Stefano Veronese

Arthur Vieira da Silva Oliveira

Universidade de São Paulo

pedro.veronese@usp.br; avs.oliveira@usp.br

Objetivos

A fluorescência induzida por laser (LIF, na sigla em inglês) emerge no cenário científico como uma técnica disruptiva que fornece medições minimamente intrusivas e de um campo de medições, e não apenas pontual, alterando a maneira de estudar diversos fenômenos. Dessa forma, o presente trabalho objetiva o desenvolvimento e aplicação da técnica para termometria e termografia. Para isso, almejamos definir a variação das respostas das moléculas fluorescentes - excitadas por laser - dissolvidas no fluido à variação de temperatura (sensibilidade). Com base nesses resultados, definir a melhor mistura de corantes e aplicá-las em medição por colimador (medições médias) e no imageamento (campos de medição). Por fim, esse estudo visa a implementação da técnica em estudos de térmica e fluidos na EESC/USP.

Métodos e Procedimentos

Para a caracterização das sensibilidades, a bancada da Fig. 1 foi desenvolvida. Ela inclui uma cubeta com a mistura de fluido e corante dentro de um porta-cubeta, posicionado sobre uma chapa aquecedora e agitador magnético. O laser é direcionado para a cubeta através de uma entrada no porta-cubeta que permite a minimização do caminho óptico. Normal ao laser, posiciona-se um colimador, conectado por fibra óptica ao espectrofotômetro, que fornece os dados ao computador. Dois termopares dentro da cubeta monitoram a

temperatura em diferentes alturas, assegurando uniformidade desta no fluido.

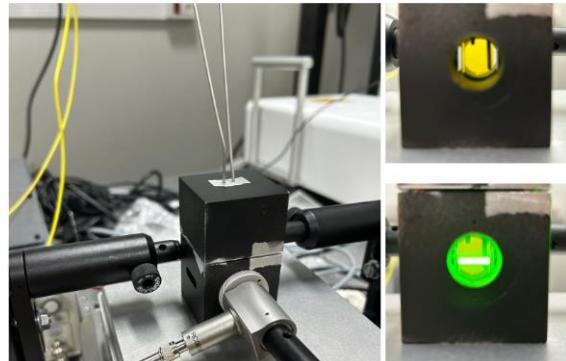


Figura 1:Arranjo experimental e visão do colimador.

O procedimento seguido consiste em conferir a temperatura com os termopares e em seguida liberar o laser no fluido. Em seguida, capturar o espectro de fluorescência e depois barrar o laser. Posteriormente, a chapa aquecedora é ativada, aumentando a temperatura cerca de 5°C de forma gradual para evitar discrepâncias no cálculo da média das medições. Após o aquecimento reinicia-se a medição da nova temperatura. Estes ciclos são interrompidos em torno de 80~90°C para evitar evaporação e alteração na concentração dos corantes.

Para a aplicação termográfica, retiramos o agitador magnético e um dos termopares foi posicionado dentro do porta-cubetas para avaliar a evolução do suporte. A chapa aquecedora foi mantida ligada para obtenção de um transiente de temperatura, e espectros foram medidos a cada 30 segundos.

Resultados

Para a caracterização da fluorescência, obtivemos os espectros dos corantes, com alguns expostos na Fig. 2, onde o eixo x representa o comprimento de onda, e o eixo y, a intensidade do sinal, respectivamente.

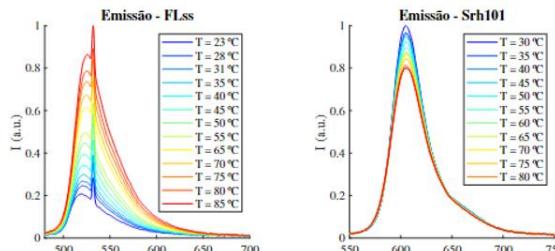


Figura 2: Alguns espectros de corantes obtidos: Fluoresceína sódica (FLss), Sulforhodamina 101 (Srh101).

A partir desses espectros, foi possível caracterizar a curva de sensibilidade de cada um dos corantes (Fig. 3), através da seguinte equação, apresentada por Chaze *et al* [1]:

$$s = \frac{\ln(FT_1 / F(T_0))}{T_1 - T_0} \quad (1)$$

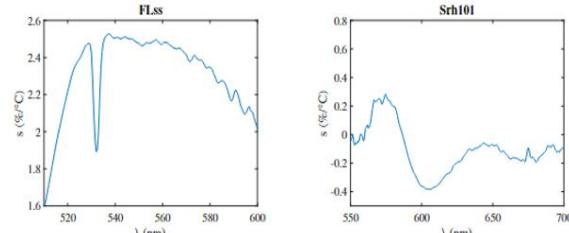


Figura 3: Curvas de sensibilidade de alguns corantes obtidos: Fluoresceína sódica (FLss), Sulforhodamina 101 (Srh101).

Estes resultados são extremamente próximos aos apresentados, para os mesmos corantes, por Chaze *et al* [1]. Assim, é possível considerar os resultados validados. Visando a aplicação, definimos FLss e Srh101 como dupla de corantes para as medições.

A partir dos dados de sensibilidade e espectro obtidos, desenvolvemos um modelo de fluorescência em função da temperatura para essa mistura. Para validá-lo, foi feito um teste

em transiente com colimador e com um termopar para comparação, e o resultado obtido está na Fig. 4:

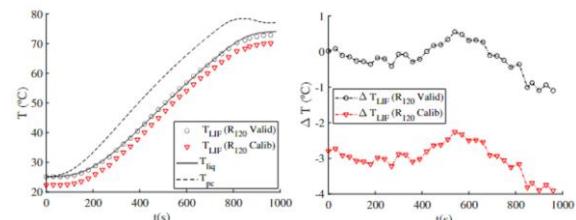


Figura 4: À esquerda, temperatura medida por LIF (TLIF) com medição de referência na validação (Valid) e calibração (Calib) e temperatura medida pelo termopar (Tpc). À direita, o erro da LIF para cada referência.

Nela, é possível aferir ótima precisão da LIF, $\sim 0,5^{\circ}\text{C}$. A queda a partir dos 800 segundos pode ser justificada pela degradação dos corantes após longo tempo de exposição, e o viés é justificado pela mudança de referência – Para medição por LIF, é necessário uma medição de referência no mesmo ponto, conhecendo a temperatura e o sinal.

Conclusões

Os resultados da calibração por colimador apresentaram forte semelhança com a literatura, validando estes resultados. Ainda, a medição por colimador de transiente também apresentou ótima precisão para a técnica, sobretudo com referência na própria medição. Dessa forma, todos os resultados são validados, nos permitindo partir para o imageamento, objetivo final da pesquisa.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer à FAPESP pelo apoio, assim como ao Professor Orientador por todo o apoio e esforço dedicado.

Referências

- [1] Chaze, W., Caballina, O., Castanet, G., and Lemoine, F. (2016). The saturation of the fluorescence and its consequences for laser-induced fluorescence thermometry in liquid flows. *Experiments in Fluids*, 57.