



ESTUDO DO IMPACTO DE GOTAS EM UMA PAREDE AQUECIDA ACIMA DA TEMPERATURA DE LEIDENFROST

Marina Holanda Feitosa, GOTAS/LETef, Depto. Eng. Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, marina.feitosa@usp.br

Arthur V. S. Oliveira, GOTAS/LETef, Depto. Eng. Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, avs.oliveira@usp.br

RESUMO EXPANDIDO

O resfriamento por spray é amplamente utilizado em várias aplicações industriais a altas temperaturas, como em acidentes por perda de refrigerante em usinas nucleares, processos térmicos na indústria metalúrgica, usinagem de alta precisão e resfriamento de equipamentos de alta potência (Cai and Mudawar, 2023). A vantagem na utilização de spray em relação à piscina de ebulição ou ao resfriamento com jatos está na sua capacidade de elevada transferência de calor, remoção uniforme do calor e utilização de baixa quantidade de fluido (Dunand et al., 2013). Para avaliar a efetividade do resfriamento por spray, é preciso investigar como esse fenômeno ocorre para uma gota individual, especialmente no que se refere ao seu comportamento hidrodinâmico e térmico, além da influência das propriedades termofísicas do fluido e da superfície.

Como apresentado na Figura 1, inicialmente ocorre a evaporação em filme e o fluido apresenta somente a fase líquida. Ao aumentar a temperatura da parede, ocorre a ebulição nucleada, seguida pela ebulição em transição, ambas caracterizadas pelo aparecimento de bolhas e comportamento bifásico. O último regime de ebulição presente é a ebulição em filme, a qual ocorre em temperaturas acima da temperatura de Leidenfrost. Esse último regime é caracterizado pela presença de uma camada de vapor que separa a fase líquida do fluido da parede. Devido a essa camada de vapor, a transferência de calor é reduzida, resultando em um maior tempo de evaporação.

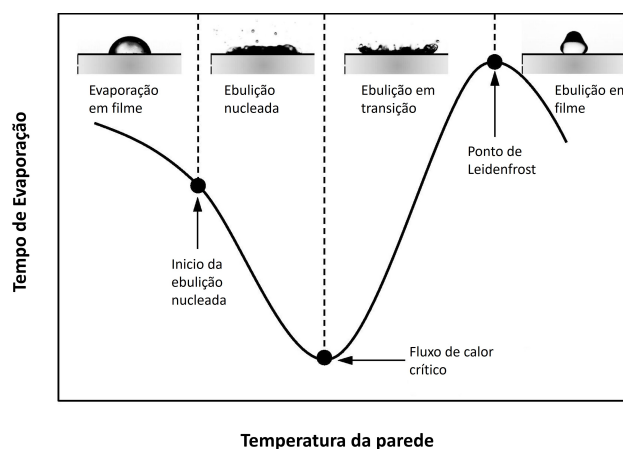


Figura 1. Curva de ebulição para uma gota sésil Liang and Mudawar (2017)

Diversos parâmetros referentes ao fluido influenciam nesse fenômeno, dentre eles: diâmetro da gota, velocidade de impacto, densidade e tensão superficial. O número de Weber (We_D) surge para sintetizar a influência desses fatores em apenas um termo adimensional. Ele representa a razão entre as forças inerciais e a tensão superficial da gota:

$$We_D = \frac{\rho_f D V^2}{\sigma_f} \quad (1)$$

em que ρ_f é a densidade do fluido, D é o diâmetro da gota, V é a velocidade de impacto e σ_f é a tensão superficial do fluido. Já em relação à superfície, as características importantes são: molhabilidade, rugosidade, difusividade térmica e presença de nanoestruturas. Porém, a propriedade mais estudada é a temperatura da parede, principalmente a diferença entre ela e a temperatura de saturação do fluido.

Apresentado na Figura 2, gotas d'água com 2,1 mm de diâmetro são produzidas a partir de uma bomba de seringa conectada a uma agulha. O número de Weber é alterado ajustando-se a distância de queda livre da gota. As gotas entram



em contato com uma bolacha de 0,5 mm de espessura e 50 mm de diâmetro. O resfriamento é investigado em três metais diferentes: aço inoxidável, alumínio e latão. A Tabela 1 apresenta a condutividade desses metais, além da temperatura no centro, dado que a temperatura da base da bolacha é de 700°C e o coeficiente de convecção do ar é de 20 W/m²K. Nela, é possível observar uma queda significativa na temperatura central da bolacha de aço inoxidável. Pode-se inferir que isso ocorre como consequência da presença de um gradiente de temperatura mais intenso, resultado da baixa condutividade térmica.

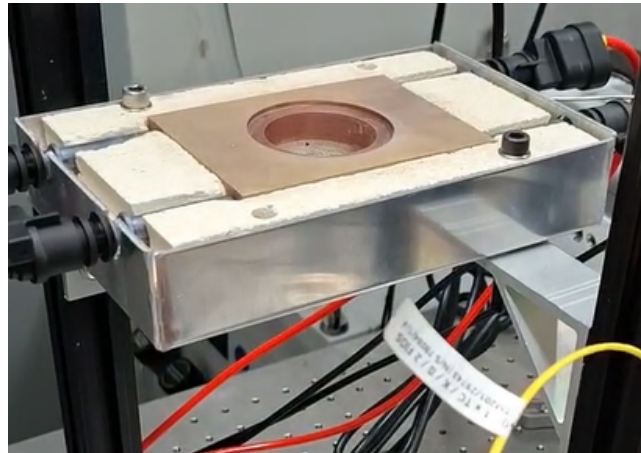


Figura 2. Aparato experimental

Tabela 1. Temperatura estimada no centro da seção de testes (T_c) e condutividade térmica (k) para diferentes materiais.

Material	T_c (°C)	k (W/m·K)
Latão	662,9	109
Aço inoxidável	496,9	16
Alumínio	679,9	205

O suporte que sustenta a bolacha é feito de latão e é aquecido por quatro aquecedores. Um termopar é conectado para medição da temperatura. Para impedir que o suporte troque calor com o ambiente, é adicionado a ele um material cerâmico. Assim, a temperatura da superfície é ajustada para que seja possível a análise do regime de ebulição em filme.

Com essa nova bancada experimental, realizaremos ensaios simultâneos de termografia da parede e do fluido, assim como shadowgraphy para a análise da dinâmica do impacto. Especialmente com os resultados em termografia, estimaremos a energia dissipada pelo impacto de gota com a utilização de um método inverso e compararemos os resultados com os modelos da literatura, informação essencial para a modelagem de resfriamento por spray.

REFERÊNCIAS

- Cai, C. and Mudawar, I. (2023). Review of the dynamic leidenfrost point temperature for droplet impact on a heated solid surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 217:124639.
- Dunand, P., Castanet, G., Gradeck, M., Maillet, D., and Lemoine, F. (2013). Energy balance of droplets impinging onto a wall heated above the leidenfrost temperature. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 44:170–180.
- Liang, G. and Mudawar, I. (2017). Review of drop impact on heated walls. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 106:103–126.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado, em parte, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processos nº 2024/10845-2 e 2021/01897-0.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.