

# DINÂMICA DA VAPORIZAÇÃO DE GOTAS FRENTE A PERTURBAÇÕES ACÚSTICAS.

Fernando Fachini Filho

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, C.Postal 01, 12630-000 Cachoeira Paulista - SP, Brasil*

e

Amable Liñán

*E.T.S.I. Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 - Plaza Cardenal Cisneros 3, Madrid, España*

## Introdução

Num meio fluido onde ocorre combustão a interação desta com o escoamento gera perturbações acústicas que podem se tornar um problema sério principalmente nos equipamentos onde a combustão ocorre confinada, pois então o acoplamento desta com o campo acústico pode induzir a amplificação de perturbações que por sua vez, pode acelerar os processos da combustão. Tal regime é conhecido como instabilidade de combustão. A operação nessas condições foi a causa da destruição de muitos motores foguetes e isto motivou uma extensa investigação do problema nas décadas de 60 e 70. Atualmente, com o objetivo de se melhorar a eficiência da combustão os equipamentos industriais de geração de calor começam a operar também em regime de instabilidade de combustão. Porém, para se conseguir o máximo de eficiência todos os processos que controlam a interação do campo acústico com a combustão devem ser completamente conhecidos. É neste sentido que analisamos a resposta da vaporização de gotas frente as perturbações acústicas, pois uma grande parte dos combustíveis usados, não apenas naqueles equipamentos, mas em motores de combustão interna tipo Diesel e em muitos motores foguetes, estão na fase líquida.

Quando uma gota sofre vaporização em condições tais que ocorre uma grande disparidade entre a densidade do líquido e a dos gases, surgem duas escalas de tempo graças a diferença entre a inércia térmica do líquido e a dos gases. A primeira delas é da ordem do tempo de vaporização da gota, que também é da mesma ordem que o tempo de aquecimento. Já a segunda escala é da ordem do tempo de resposta térmica da fase gasosa a uma distância da ordem do raio da gota. Quando a velocidade da gota em relação à fase gasosa é diferente de zero aparecem mais dois tempos característicos: um correspondente à circulação do líquido no interior da gota (tempo este de ordem do tempo de vaporização)

o período correspondente ao tempo de residência dos vapores na esteira da gota (evento da ordem do tempo de resposta da fase gasosa). Como a primeira escala é muito maior que a segunda, a razão entre elas é da mesma ordem que a razão entre as densidades líquido, gás, e por isto as perturbações excitarão ou os processos no interior ou aqueles no exterior da gota. Para perturbações de período da ordem do tempo de vaporização, a fase gasosa se comporta quase-estacionariamente tanto para a solução de ordem um como para as correções de ordens superiores. Entretanto, para perturbações com período de ordem do tempo de resposta da fase gasosa, esta última se comporta transitóriamente para as correções da solução.

A análise do comportamento da vaporização da gota frente a perturbações acústicas, incluindo todos os processos mencionados anteriormente para o interior da gota tornaria-se extremamente complexa isto sem contar com a dificuldade de se identificar as contribuições de cada um deles no comportamento final da gota (Heidmann e Weiber 1966<sup>a,b</sup>, Strahle 1972). Por este motivo focalizamos neste trabalho a atenção em dois processos: o da vaporização e o transitório na fase gasosa. Para isto admitimos que a velocidade da gota em relação a fase gasosa é nula e também que aquela está a uma temperatura muito próxima da de ebulição, permitindo justificar que praticamente todo calor que chega a superfície da gota é empregado no processo da vaporização e apenas uma pequena quantidade de calor, de ordem da amplitude das perturbações, vai para o interior da gota. Supomos ainda que o comprimento de onda das perturbações acústicas é muito maior que o raio da gota, pois com isto podemos desprezar as variações espaciais da pressão em relação às suas variações temporais.

Encontramos na literatura várias outras análises de estabilidade tais como, por exemplo, a da vaporização no ponto de estagnação de uma gota (Strahle 1965) e a da combustão em sólidos (Strahle 1965 e Williams 1965).

Aqui neste trabalho não estamos considerando os efeitos hidrodinâmicos de desestabilização da gota, que estão bem estudados nos trabalhos de Palmer (1976), Prosperetti e Plesset (1984), Jacobs, Catton e Plesset (1984) e Higueira e Liñán (1986).

## Bibliografia

- Boa-Teh Chu, Stability of systems containing a heat source - the Rayleigh criterion, NACA RM 56D27, 1952
- Heidmann, M. e Wieber, P.R., Analysis of n-heptane vaporization in unstable combustor with travelling transverse oscillations, NASA TN D-3424, maio, 1966.
- Heidmann, M. e Wieber, P.R., Analysis of frequency response characteristics of propellant vaporization, NASA TN D-3749, dezembro, 1966.
- Higueira, F.J. e Liñán, A., Stability of a droplet vaporizing in a hot atmosphere. *Progress in Astronautics and Aeronautics*, vol. 105, edited Bowen and Leyer, 1986.
- Palmer H., The hydrodynamic stability of rapidly evaporating liquids at reduced pressure, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 75, part 3, pag. 487-511, 1976
- Prosperetti A. e Plesset M.S., Stability of a vaporating liquid surface, *Physics of Fluids*, vol. 27, n° 7, 1984.
- Jacobs J.W., Catton, I. e Plesset M.S., The hydrodynamic stability of rapidly evaporating liquids with time dependent base states. *Transactions of the ASME*, vol. 106, pag. 352-358, 1984.
- Strahle, W.C., Combustion Processes, NASA TN D-3749, pag. 128-138, 1972.
- Strahle, W.C., Periodic solutions to a convective droplet burning problem: the stagnation point, X<sup>th</sup> Symposium International on Combustion, pag. 1315-1325, 1965
- Strahle, W.C., Unsteady reacting boundary layer on vaporizing flat plate. *AIAA Journal*, vol. 3, n° 6, pag. 1195-1198, 1965.
- Chanin S.P. e Faeth, G.M., Oscillatory combustion of monopropellant droplets, *AIAA Journal*, vol. 15, n° 3, pag. 346-353, 1977.
- Allison C.B. e Faeth, G.M., Open-loop response of a burning liquid monopropellant, *AIAA Journal*, vol. 13, n° 10, pag. 1287-1294, 1975.
- Williams, F.A., Response of a burning fuel plate to sound vibrations. *AIAA Journal*, vol. 3, n° 11, pag. 2112-2124, 1965.