

Ação de micro-jatos cônicos em superfícies sólidas**The action of conical micro-jets in solid surfaces**

DOI:10.34117/bjdv5n9-022

Recebimento dos originais: 18/07/2019

Aceitação para publicação: 05/09/2019

Gil Bazanini

Doutor em Engenharia Mecânica pela UFPB.

Instituição: Universidade do Estado de SC.

Endereço: Rua Paulo Malschitzki, 200 Zona Industrial Norte, Joinville / SC CEP: 89.219-710

E-mail: gil.bazanini@udesc.br

Nicodemus Neto da Costa Lima

Mestre em Engenharia Mecânica pela UFPE.

Instituição: Universidade do Estado de SC.

Endereço: Rua Paulo Malschitzki, 200 Zona Industrial Norte, Joinville / SC CEP: 89.219-710

E-mail: nicodemus.lima@udesc.br

Ricardo Kirchoff Unfer

Doutor em Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de SC.

Instituição: Universidade do Estado de SC.

Endereço: Rua Paulo Malschitzki, 200 Zona Industrial Norte, Joinville / SC CEP: 89.219-710

E-mail: Ricardo.unfer@udesc.br

RESUMO

No presente trabalho são estudados a formação e a ação de micro-jatos oriundos do colapso de bolhas, ou cavidades, em água. Este estudo aborda desde a física e a geometria de sua formação até os resultados da ação destes micro-jatos em superfícies em alumínio utilizados na fabricação de rotor de bombas centrífugas radiais, notadamente a erosão por cavitação. Estudos experimentais também são realizados pela utilização do equipamento a disco rotativo compacto, projetado e montado no Departamento de Engenharia Mecânica da Udesc. Os resultados experimentais são comparados com os obtidos pela análise teórica, visando uma explicação para as formas resultantes da erosão por cavitação.

Palavras-chave: erosão, cavitação, alumínio.**ABSTRACT**

In the present work, are studied the formation and action of micro-jets form the collapse of bubbles, or cavities, in water. Are studied the physics and geometry of the jets until its action on the surface of aluminum used on centrifugal pump impellers, such as the erosion by cavitation. Experimental studies are also performed using the compact rotating disk device, designed and assembled at the Department of Mechanical Engineering of the Santa Catarina

State University. Experimental results are compared to the theoretical ones, seeking for an explanation to the forms of the cavitation erosion in metals.

Keywords: erosion, cavitation, aluminum.

1. INTRODUÇÃO

Quando as bolhas de ar e vapor sofrem colapso próximo a superfícies sólidas, podem ocorrer danos às mesmas. Dois são os mecanismos de danos conhecidos: incidência de micro-jatos de líquidos, e ondas de choque (FUJIKAWA; AKAMATSU, 1980; HAMMITT, 1980). Estes micro-jatos ocorrem nos estágios finais do colapso das bolhas, devido a deformação das mesmas, causada pela proximidade de uma superfície sólida. Nos estágios finais, a bolha assume o formato toroidal, através da qual o micro-jato escoar em direção à superfície, atingindo-a a uma velocidade de aproximadamente 100 m/s (FRANK; MICHEL, 2005). Já as ondas de choque são causadas por oscilações (“rebound”) das bolhas afastadas da superfície sólida, antes de seu colapso final, resultando em ondas de pressão e de choque. A duração destes fenômenos é da ordem de milissegundos (BAZANINI, 2003).

Com a finalidade de se estudar experimentalmente os efeitos da cavitação em superfícies sólidas, diversos dispositivos têm sido desenvolvidos ao longo das últimas décadas. Os mais importantes são: dispositivos por impacto de jato, descrito por Janakiram (1973), que consiste de jatos de água atingindo corpos de prova fixos num disco rotativo; o equipamento vibratório (KNAPP et al., 1970) onde os corpos de prova vibram no líquido de ensaio; o dispositivo a disco rotativo com eixo vertical, utilizado por Wood et al. (1967), onde um disco com corpos de prova fixados em sua superfície gira na água para provocar escoamento em condições de cavitação; e finalmente o dispositivo a disco rotativo com eixo horizontal, utilizado por Rao et al. (1980) e Vivekananda et al.(1983). No presente trabalho, este dispositivo, projetado e montado na Universidade do Estado de Santa Catarina, será utilizado para se obter danos na superfície de corpos de prova em alumínio utilizado na fabricação de rotores de bombas centrífugas radiais (SAE 335), fornecidos pela Franklin Electric (antiga Schneider), os quais serão analisados com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV), com o objetivo de se observar os danos causados pela ação dos micro-jatos oriundos da cavitação. A estes resultados experimentais (“pits” de cavitação ou crateras), será feita uma associação com as formas de jatos obtidas pelo escoamento potencial e pela mecânica dos fluidos.

Na formação das bolhas, um raio característico inicial é o de 1 mm (FRANK; MICHEL, 2005; BAZANINI, 2003 MIKSIS;TING, 1984). O diâmetro do jato deixando a bolha é de aproximadamente 10% do raio inicial da bolha, ou seja 0,1 mm (FRANK;MICHEL, 2005).

2. METODOLOGIA

2.1 EXPERIMENTAL

Para produzir as bolhas que serão responsáveis pela geração dos micro-jatos responsáveis pela formação dos “pits”, ou crateras, na superfície dos corpos de prova metálicos, foi utilizado o dispositivo a disco rotativo (BAZANINI; LIMA, 2017), o qual pode ser visto na Figura 1.



Figura 1. Equipamento a disco rotativo.

A câmara dispõe de conexões para entrada e saída de água, respiro e conexões para medições de temperatura e pressão. A rotação do disco é controlada por um inversor de frequência. A água é abastecida por um reservatório situado num plano superior através de um sistema de tubulações de entrada e saída, válvulas, e filtro de água. Para prevenir problemas oriundos de vibrações, o disco é balanceado antes dos ensaios, e os suportes do dispositivo são providos de amortecedores de vibrações. Pela mesma razão, os corpos de prova e os indutores de cavitação são posicionados diametralmente opostos.

A temperatura e a pressão são monitoradas por um termômetro e um manômetro de escalas 0-100 °C e 0-3 bar, respectivamente, sendo que o dispositivo foi operado à temperatura ambiente e pressão atmosférica local. A rotação do motor e o consumo de potência são

registrados pelo inversor de frequência. Foi utilizado um motor de 30 cv de potência a uma rotação de 4400 rpm.

A cavitação é provocada por indutores de cavitação, existentes no disco, com a função de formar as bolhas, ou cavidades, sendo que o colapso das mesmas ocorrerá na superfície dos corpos de prova fixados neste disco.

Os corpos de prova, em alumínio SAE 335, de diâmetro 4,34 centímetros (Figura 2), ficaram submetidos a um período de 10 horas em condições de escoamento cavitante, após os quais foram retirados, limpos por ultra-som, e analisados no microscópio eletrônico de varredura.

A máquina está instalada sobre uma bancada com uma estrutura metálica, onde amortecedores foram montados nos pés da estrutura para absorver as vibrações causadas pelo equipamento, quando em operação.

Antes dos ensaios, foi determinada a composição química dos corpos de prova, vista na Tabela 1, assim como sua micro-dureza Vickers (Figura 3), já que a erosão por cavitação é um fenômeno superficial. O valor medido da dureza foi de 67,25 para uma carga de 200 gf.



Figura 2. Corpo de prova em alumínio.

Tabela 1. Composição Química dos Corpos de Prova.

Elemento	Al	Cu	Si	Mg	Zn	Fe
Composição (% Peso)	92,95	1,30	5,10	0,43	0,10	0,12

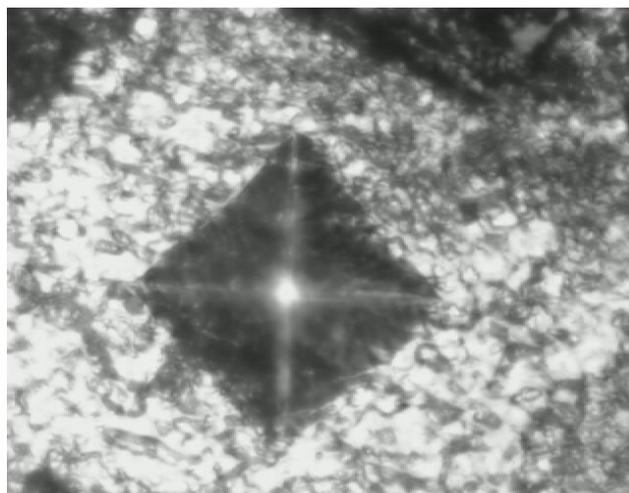


Figura 3. Medições de micro-dureza Vickers.

2.2 TEÓRICA

Sabe-se que nos estágios finais de colapso, as bolhas próximas a uma superfície sólida deformam-se, assumindo a forma toroidal (BAZANINI et al., 2017). Nas imagens oriundas de filmagens de experimentos disponíveis na literatura (BRENNEN, 1995; GOH et al., 2012; SYAFIQA, 2012) não é possível distinguir o formato dos micro-jatos. Entretanto, conforme Landau; Lifshitz (1959), baseados em ensaios experimentais, o jato saindo de um tubo vertical estreito teria um formato cônico com um ângulo de 12,5 a 15 graus em relação à vertical. Então será feita aqui uma analogia entre o micro-jato saindo de um tubo fino vertical e o micro-jato saindo de uma bolha toroidal. Para efeito de cálculos será considerado aqui um ângulo de 15 graus em relação à vertical (Figura 4).

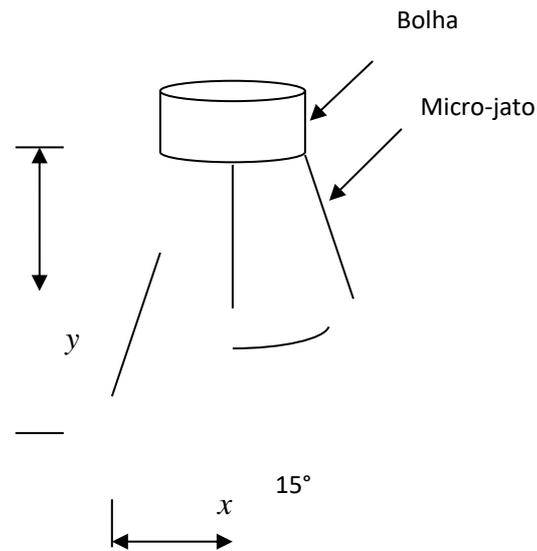


Figura 4. Micro-jatos cônicos através da bolha toroidal.

A cota x da Figura 4 será, portanto, igual à metade do diâmetro do pit de cavitação ϕ_{pit} obtido experimentalmente neste trabalho, ou seja:

$$x = \frac{\phi_{pit}}{2} \quad (1)$$

A cota y representa a distância da bolha ao corpo de prova.

3. RESULTADOS

A seguir, na Figura 5, o resultado obtido para a amostra em alumínio SAE 335, para uma ampliação de 13 vezes.

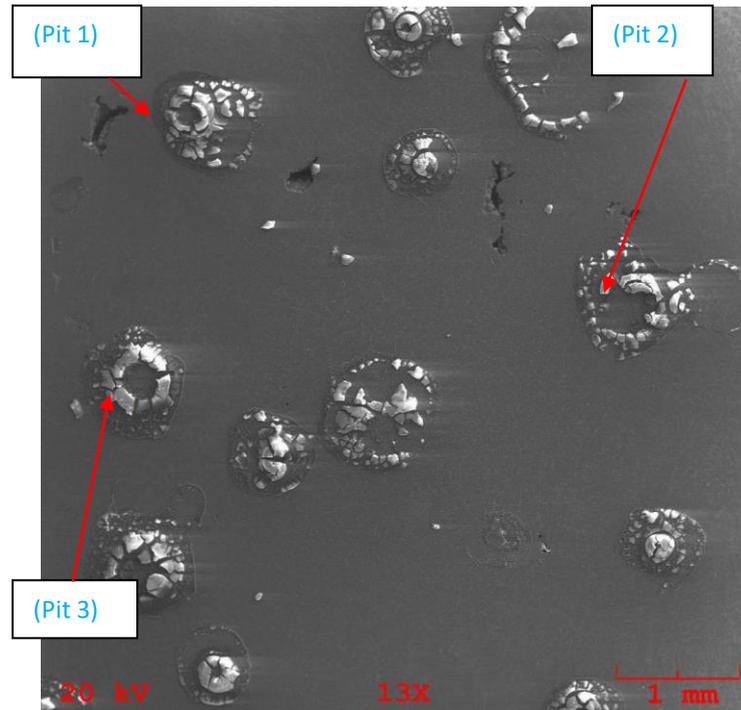


Figura 5. Alumínio SAE 335 após 10 hs de ensaio.

Alguns destes pits (nomeados Pit 1, 2 e 3, respectivamente) de cavitação foram utilizados neste estudo. Os mesmo estão ampliados na Figura 6.

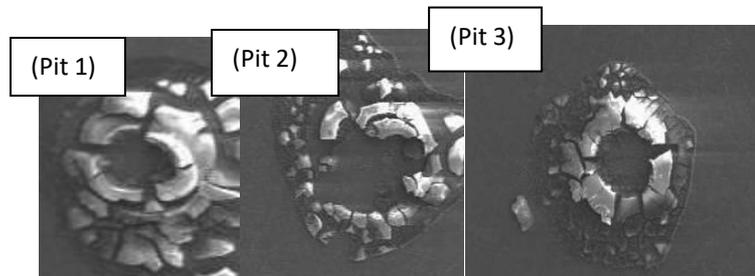


Figura 6. Destaque ampliado de alguns pits de cavitação da Figura 4.

Outra imagem analisada do mesmo material é a da Figura 7 abaixo, a qual foi nomeada Pit 4 nas medições e cálculos.

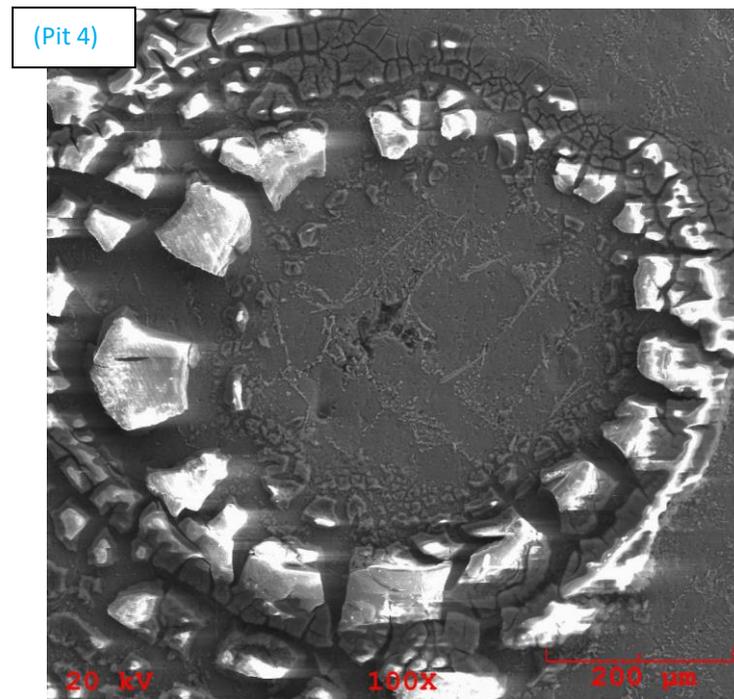


Figura 7. Amostra 2 de alumínio SAE 335 em ampliação de 100 x.

Foram medidos os diâmetros dos pits e calculados as distâncias x e y em μm , bem como o intervalo de tempo Δt , em μs , que o jato levaria para alcançar a superfície sólida do corpo de prova, considerando uma velocidade de jato de 100 m/s (FRANK; MICHEL, 2005). Na Tabela 2 estão os resultados medidos e calculados.

Tabela 2. Medições e Cálculos de Pits, Distâncias e Tempos.

Pit	1	2	3	4
\varnothing_{pit} (medido), em μm	175	250	300	215
x (calculado), em μm	87,5	125	150	107,5
y (calculado), em μm	140	280	373	215
Δt (calculado), em μs	1,40	2,80	3,73	2,15

Nas imagens obtidas por Brennen (1995), pode-se observar valores aproximados de 170 μm para y e de 2 a 4 μs para Δt .

4. CONCLUSÕES

Embora pelas imagens existentes na bibliografia disponível não seja possível distinguir o formato dos micro-jatos, já que se considera que exista para o mesmo uma simetria aproximada na direção x (circunferencial) durante a ação deste micro-jato, o modelo de jato cônico estudado mostrou resultados de distâncias e tempos próximos aos valores disponíveis na literatura existente.

Porém, mesmo sem elevadas perdas de massa, constatou-se danos nas superfícies dos corpos de prova ensaiados, após 10 horas sob escoamento cavitante. Sob tais circunstâncias, tais danos tendem a aumentar com o passar do tempo, levando inevitavelmente à substituição dos rotores em algum momento, reforçando a idéia de que o mais prudente é prevenir a ocorrência do fenômeno ainda em fase de projeto, pela utilização do conceito de NPSH (Net Positive Suction Head).

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Santa Catarina (FAPESC), bem como às Indústrias Schneider/Franklin Electric, pela parceria neste projeto.

REFERÊNCIAS

Bazanini, G. (2003). Temperature Calculation Inside Collapsing Bubbles in Compressible Liquids, 2nd Brazilian Congress on Manufacturing Engineering, Uberlandia, Brazil.

Bazanini, G. Barbosa Jr., A.F., Lima, N.N.C. (2017). Erosion and Corrosion by Micro-jets and High Temperature Cavity Impaction on Metal Surfaces, 9th Brazilian Congress on Manufacturing Engineering, Joinville, Brazil.

Bazanini, G., Lima, N.N.C., Setembro (2017). Dados Técnicos e Erosão com o Dispositivo a Disco Rotativo. 2^o Congresso Nacional de Inovação e Tecnologia, São Bento do Sul, Brasil.

Brennen C.E. (1995). Cavitation and Bubble Dynamics. Oxford University Press, New York, USA.

Frank, J.C., Michel, J. P. (2005) Fundamentals of Cavitation. Kluwer Publishers.

Fujikawa, S., Akamatsu, T., (1980), On the Mechanisms of Cavitation Bubble Collapse, IAHR Symposium, Tokyo, Japan.

Goh, B.H.T., Ohl, S.W., Klaseboer, E. and Khoo, B.C., (1996) Assessment of Resistance of Non-Metallic Coatings to Silt Abrasion and Cavitation Erosion in a Rotating Disk Test Rig, *Wear* 194, pp. 149-155.

Hammit, F.G., (1980), *Cavitation and Multiphase Flow Phenomena*, McGraw-Hill Book Company.

Janakiram, K. S., (1973), *Studies on Erosion Due to Liquid Jet Impingement*. MSc. Thesis, Indian Institute of Science, Bangalore.

Knapp, R.P., Daily, J. W., Hammit, F.G., (1970), *Cavitation*, McGraw-Hill.

Landau L D., Lifshitz E.M., (1959), *Course of Theoretical Physics*, vol. 6. Fluid Mechanics. Edition, Pergamon Press, Great Britain.

Miksis, M.J.; Ting, L., September (1984). Nonlinear Radial Oscillations of a Gas Bubble Including Thermal Effects. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 76, No. 3, pp. 897-905.

Ramamurthy, A.S. and Bhaskaran, P., September. (1975). Source Size and Velocity Effects on Cavitation Damage, *Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering*, pp. 384-386.

Rao, P.V., Rao, B.C.S. and Rao N.S.L. (1980). Erosion and Cavity Characteristics in Rotating Components. *Journal of Testing and Evaluation*. American Society of Testing and Materials, pp. 127-142.

Syafiqah, N., Kumazawa, Y., Koike, Y., Kawashima, H. and Ishima, T. (2012) Influence of Collapse Pressure Control on Bubble Radial Motion, *Eightth International Symposium on Cavitation*. pp. 172-177, Singapore.

Vivekananda, P. (1983). *Mechanism of Cavitation Damage Influence of Stacking Fault Energy on Erosion and Erosion Resistance of Steels and Coatings*. Ph.D. Thesis, Dept. Of Civil Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore, India.

Wood, G.W., Knudsen, L.K., Hammit, F.G., 1967, *Cavitation Damage Studies with Rotating Disk in Water*. *Transactions of the ASME. Journal of Basic Engineering*.