



Contents lists available at ScienceDirect

Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy

ELSEVIER

Nucleation site between artificial cavities during nucleate pool boiling on silicon with integrated micro-heater and temperature micro-sensors

H.J. Vazquez-Arredondo^{a,*}, S. De Oliveira Junior^b, P. Benjumea^a

^a Grupo de Investigación en Biorreactores y Equipos de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Colima, Colima, México
^b Departamento de Engenharia Médica, Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, Avenida professor Mello Moraes, 2231, Brazil

Autores: C. Hutter, K. Sefiane, T.G. Karayiannis, A. J. Walton, R. A. Nelson, D.B. R. Kenning

Journal: International Journal of Heat and Mass Transfer

Volume: 55 (2012) 2769-2778

Artículo histórico
Received 29 September 2010

Received in revised form

5 May 2011

Accepted 11 June 2011

Available online 20 July 2011

Keywords:

Exergy

Biomass

Biofuels

Fermentation

Hydrolysis

Liquid biofuels can be produced from a variety of feedstocks and processes. Ethanol and biodiesel production processes based on conventional raw materials are already commercial, but subject to further improvement and optimization. Biofuels production processes using lignocellulosic feedstocks are still in the demonstration phase and require further R&D to increase efficiency. A primary tool to analyze the efficiency of biofuels production processes from an integrated point of view is offered by exergy analysis. To gain further insight into the performance of biofuels production processes, exergy analysis, which allows analyzing the effect of process variables on the energy efficiency of stages in which chemical or biochemical reactions take place, were implemented. Feedstocks selected for analysis were parts or products of tropical plants such as the fruit and flower stalk of banana trees, palm oil, and glucose syrup. Results of process simulation, taking into account the exergy efficiency of the acid hydrolysis of banana fruit and banana pulp were in the same range as the exergy efficiencies of the acid hydrolysis of banana fruit and banana pulp (50% and 60%), lower than the figure for palm oil transesterification (90%), and higher than the exergy efficiency of the enzymatic hydrolysis of flower stalk (20.3%).

Talita Wajczyk

Seminário: Ebulição e Condensação

3/2013

Objetivo

- ▶ A ebulição nucleada é um processo eficiente de transferência de calor;
- ▶ Aplicada em processos de baixas diferenças de temperaturas;
- ▶ Uso industrial para diversas situações;
- ▶ Os mecanismos envolvidos não estão claramente entendidos;
- ▶ Estudos recentes simulam esse processo com cavidades artificiais;
- ▶ Compreender e descrever as interações entre cavidades na ebulição nucleada.



Histórico

▶ Chekanov:

- ▶ Três regiões de interações baseadas no espaçamento adimensional entre cavidades.
- ▶ S/D_d É a relação entre a distância entre as cavidades e o diâmetro médio de partida da bolha;
- ▶ $S/D_d < 3$: a formação de bolha em uma cavidade inibe a cavidade vizinha;
- ▶ $S/D_d > 3$: a formação de bolha em uma cavidade promove a nucleação na cavidade vizinha;
- ▶ $S/D_d \gg 3$: sem interação entre as cavidades;
- ▶ Efeitos acústicos e hidrodinâmicos são associados a promoção e inibição no crescimento de bolhas;

▶ Judd et al:

- ▶ Três regiões de interações baseadas no espaçamento adimensional entre cavidades.
- ▶ S/D_d É a relação entre a distância entre as cavidades e o diâmetro médio de partida da bolha por período;
- ▶ $S/D_d < 1$: “promotive region”, cavidade captura núcleo de vapor disponibilizada pela cavidade vizinha;
- ▶ $1 < S/D_d < 3$: “inhibitive region”, sítio não consegue capturar núcleo de vapor. Influência da cavidade adjacente;
- ▶ $S/D_d > 3$: “independent”, sem interação entre as cavidades;



Histórico

▶ Kenning e Yan

- ▶ Investigação da flutuação da temperatura no aquecimento da parede durante o crescimento de bolha;
- ▶ Sítios dentro do máximo valor de ocorrência de diâmetro de bolha se influenciam mutuamente através da flutuação da temperatura de parede;
- ▶ Essas interações causam intermitência e impactam na produção de bolhas;

▶ Golobic e Gjerkes

- ▶ As interações entre sítios diminui a atividade “total” dos sítios;

▶ Zhang e Shoji

- ▶ Observação de três efeitos:
- ▶ A) Interação hidrodinâmica entre bolhas;
- ▶ B) Interação térmica entre sítios nucleados;
- ▶ C) Coalescência horizontal e “ângulo”



Histórico

▶ Zhang e Shoji

- ▶ $S/D_d > 3$: nenhuma das interações foi observada, cavidades independentes;
- ▶ $2 < S/D_d \leq 3$: Efeito A e alta frequência;
- ▶ $1.5 < S/D_d \leq 2$: Efeito A e B;
- ▶ $1.5 \leq S/D_d$: Efeito A, B e C;
- ▶ O range da interação térmica também é relacionado pelas propriedades térmicas e espessura do substrato;



▶ Buyevich e Webbon

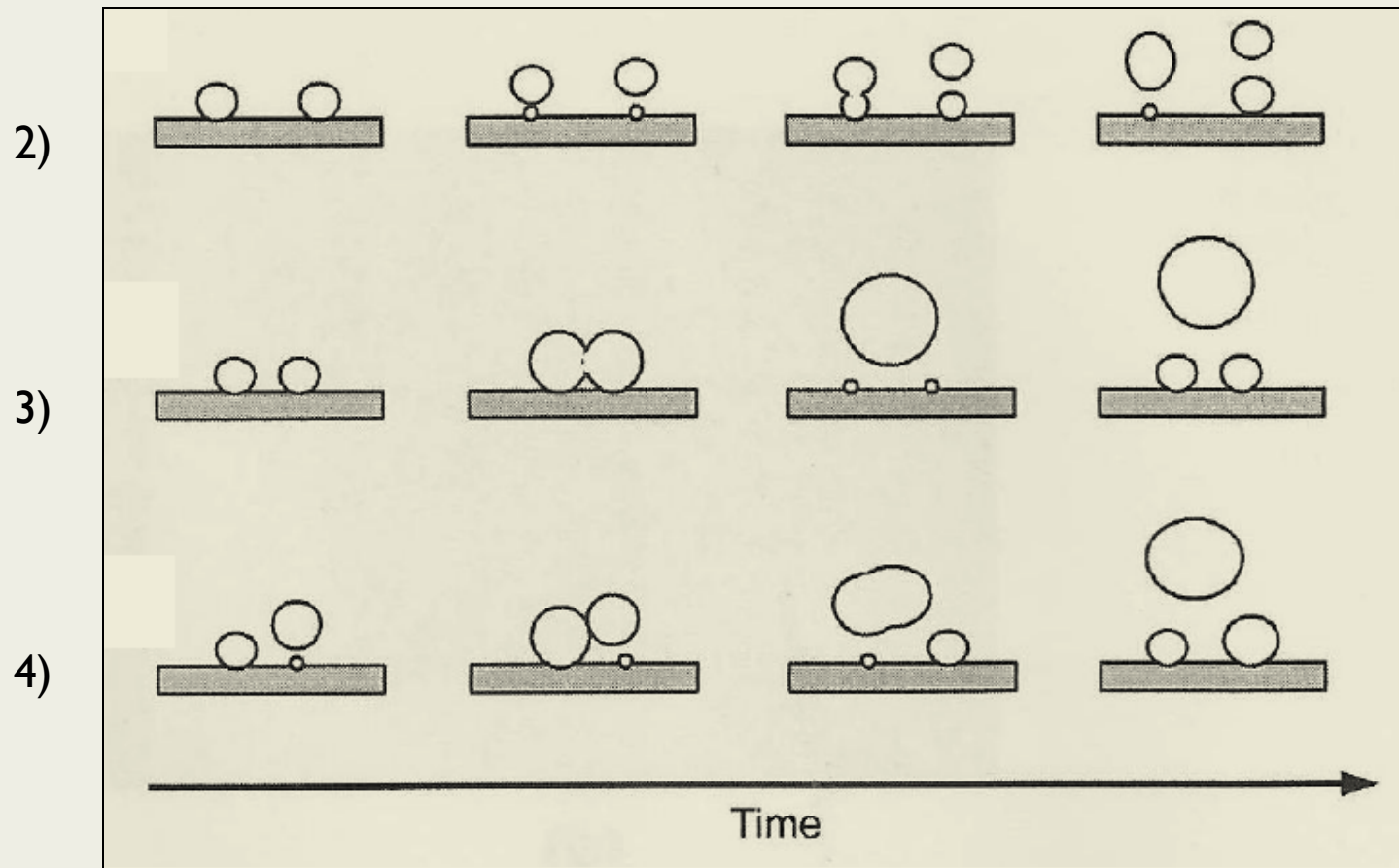
- ▶ Classificação de interação e coalescência
- ▶ 1) Coalescência lateral longe da parede aquecida que não afeta o h;
- ▶ 2) Coalescência vertical entre bolhas consecutivas próximas a parede;
- ▶ 3) Coalescência lateral entre bolhas consecutivas perto da parede aquecida;

▶ Yang et al.

- ▶ Confirmou os três tipos supracitados em simulação e propôs um quarto
- ▶ 4) Coalescência lateral entre bolhas adjacentes movimentando-se em ângulo;

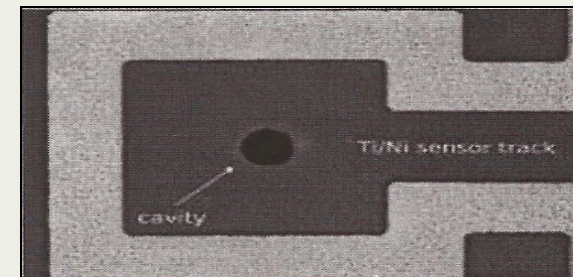
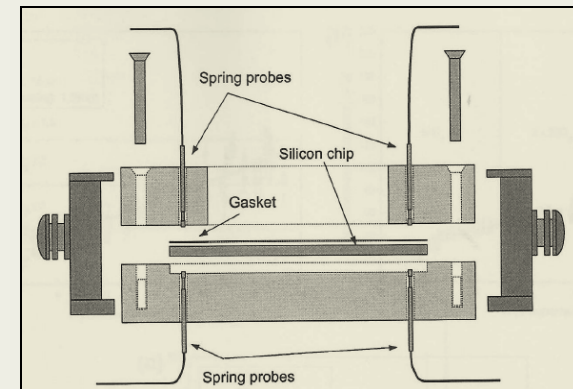
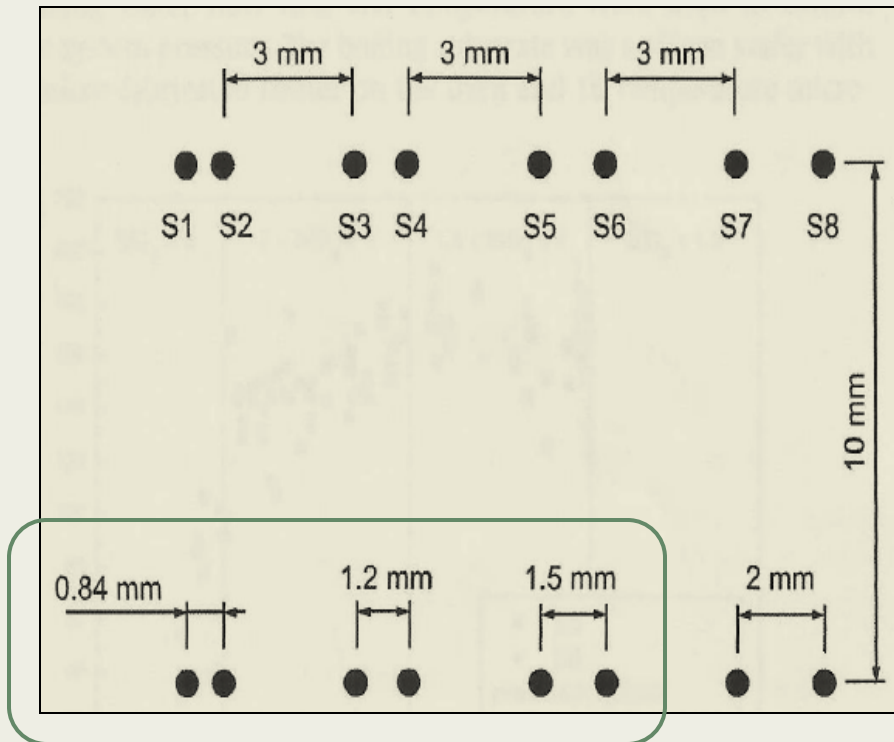


Histórico



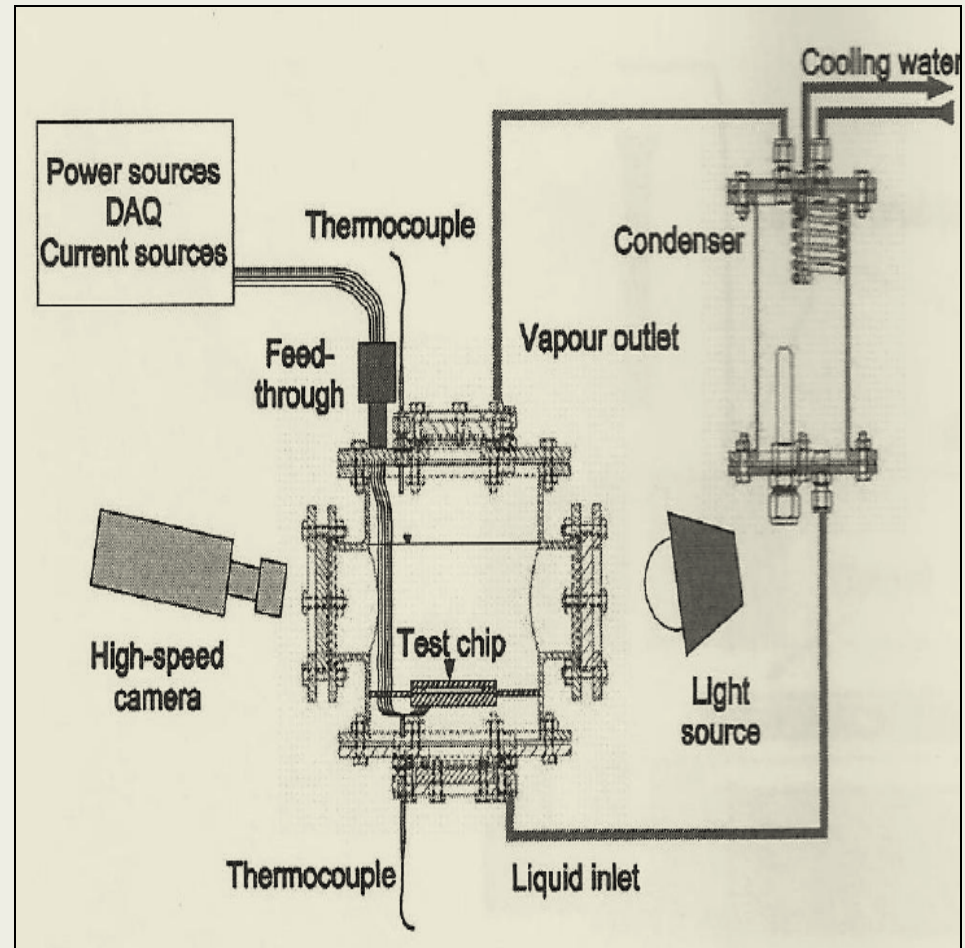
Experimento

- ▶ Circuito eletrônico implantado em silicone;
- ▶ 16 cavidades dispostas em duas linhas e aquecidas individualmente;



Experimento

- ▶ Pool boiling;
- ▶ Câmara conectada ao condensador;
- ▶ Meio: FC-72 na temperatura de saturação;
- ▶ Os gases eliminados durante desgaseificação são enviados ao condensador;
- ▶ Sistema de água refrigerada e temperatura para controlar a pressão do sistema;
- ▶ Fluxo de calor de 0.5 a 5.7kW/m²;
- ▶ Cavidade: 10μm x 80μm
- ▶ Diâmetro de bolha: 1mm;
- ▶ Frequência de partida de bolha = Frequência de nucleação – frequência de coalescência vertical

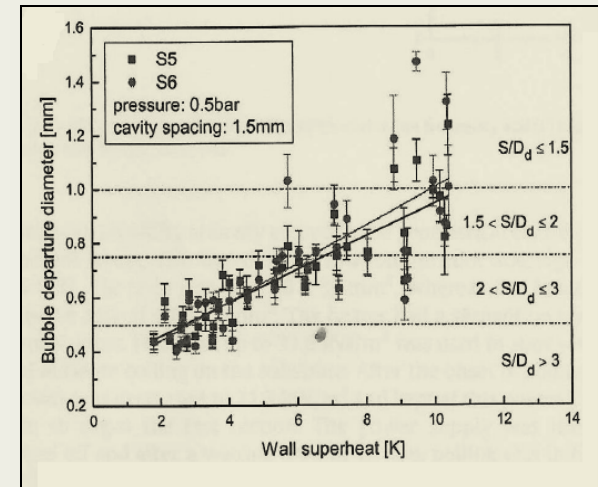
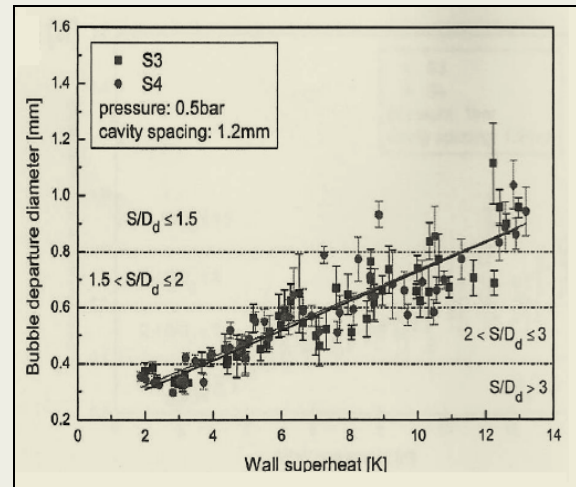
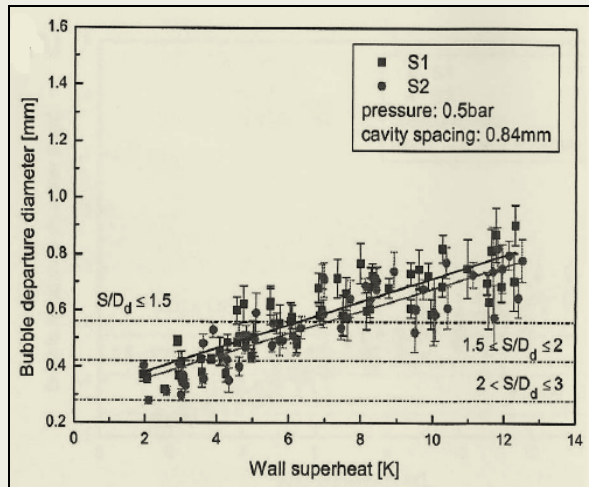


Resultados

- ▶ Interações observadas nesse experimento;
 - ▶ - vertical em um dos sítios ou simultaneamente;
 - ▶ - horizontal: 0.84mm a 0.5bar;
- ▶ $\Delta T_{\min}$:
 - ▶ 1.96K para 0.5 bar;
 - ▶ 0.93K para 1 bar;



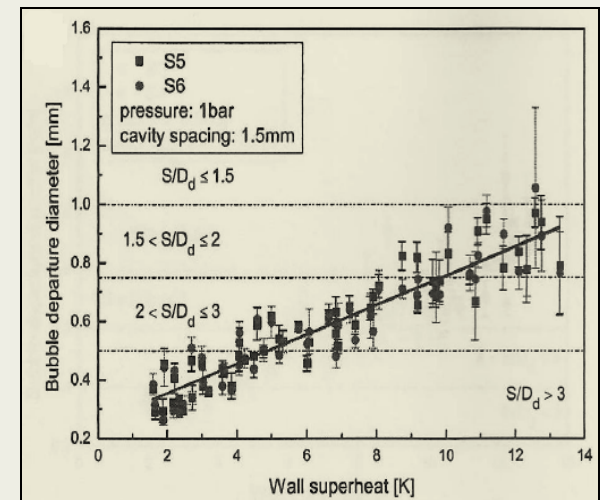
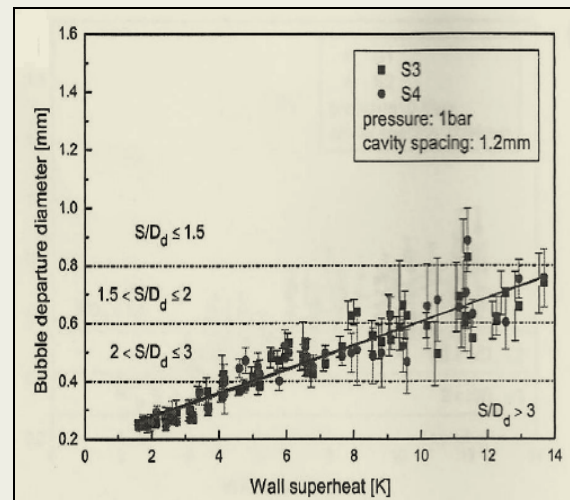
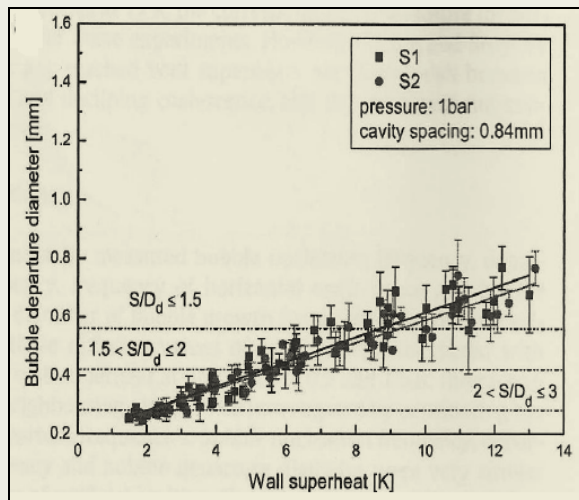
Resultados: Diâmetro de partida



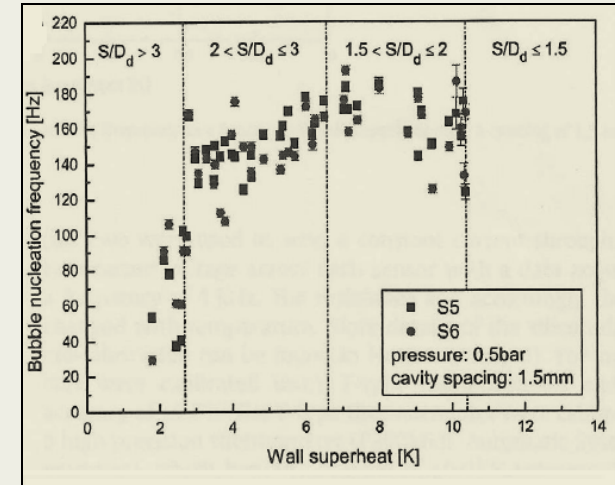
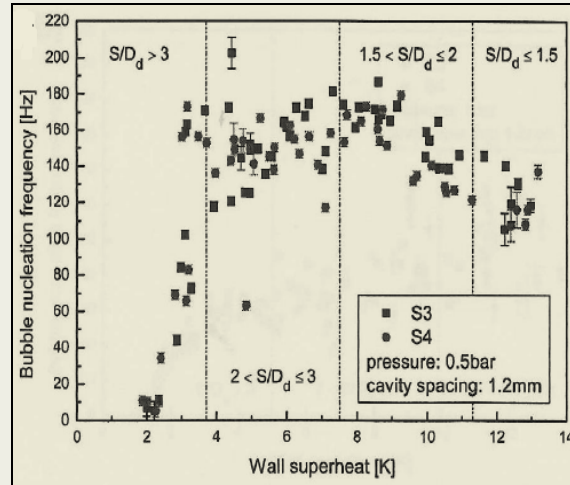
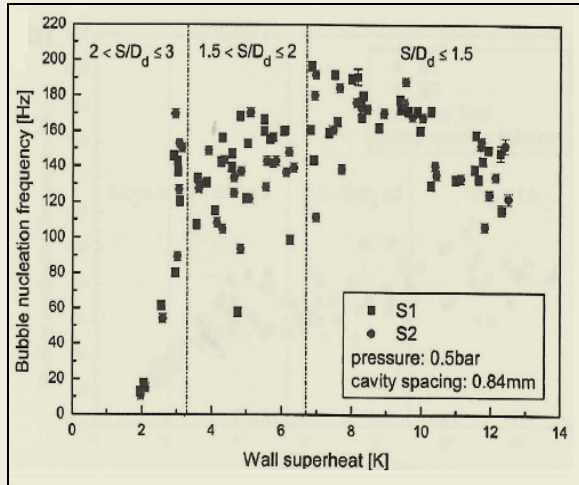
- ▶ O diâmetro de partida da bolha aumenta linearmente com o ΔT de superaquecimento;
- ▶ Mantendo o ΔT de superaquecimento: o diâmetro de partida da bolha é um pouco maior para os espaçamentos 1.2 entre 1.5mm;
- ▶ Pouca diferença entre 0.84 e 1.2mm;
- ▶ Primeiras bolhas aparecem imediatamente após o $\Delta T_{\min}$ teórico;

Resultados: Diâmetro de partida

- ▶ O diâmetro de partida da bolha são maiores para pressões mais baixas;
- ▶ Mantendo o ΔT de superaquecimento: o diâmetro de partida da bolha é um pouco maior para os espaçamentos 1.2 entre 1.5mm;
- ▶ Pouca diferença entre 0.84 e 1.2mm;



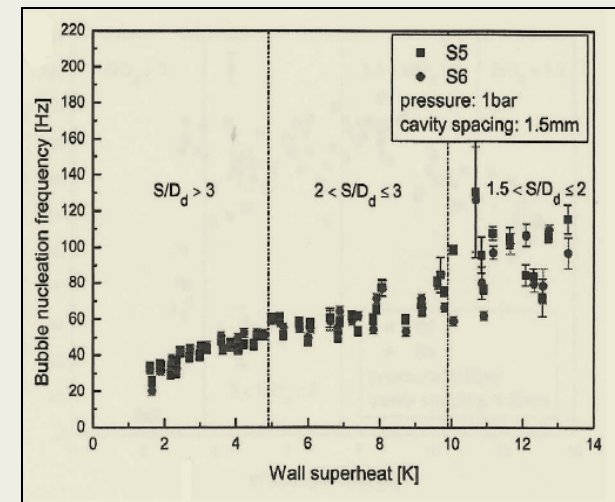
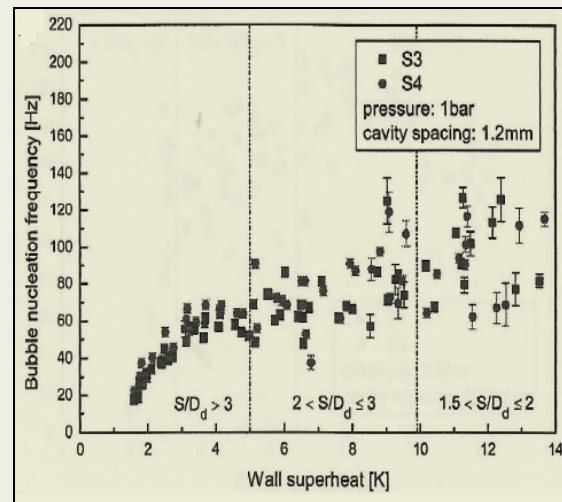
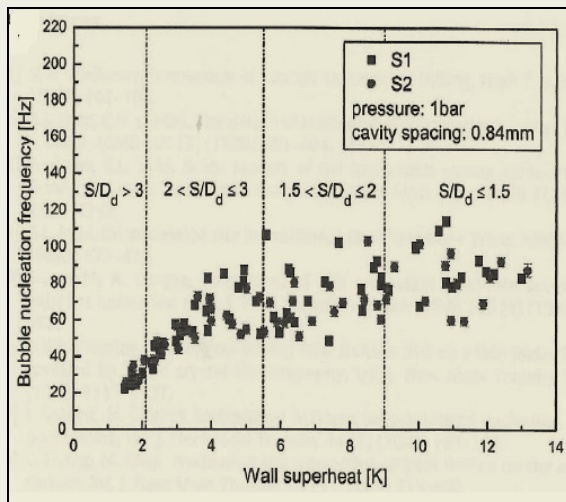
Resultados: Frequência de nucleação



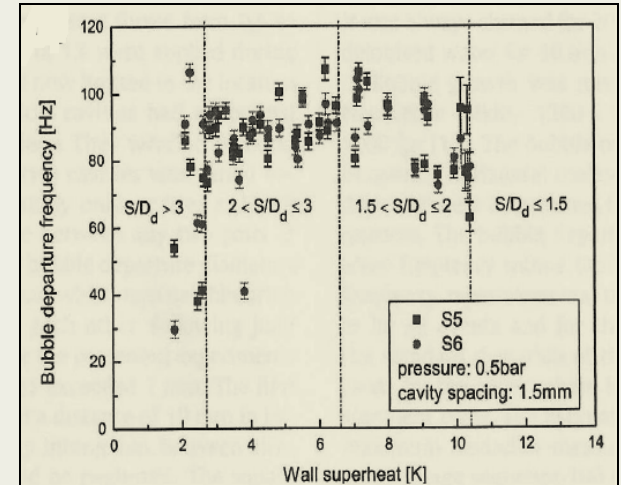
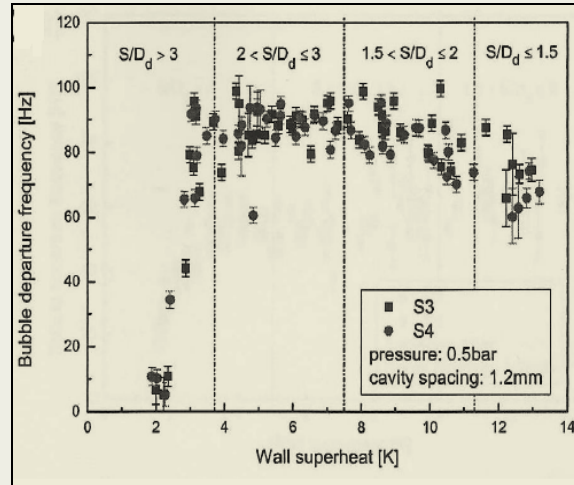
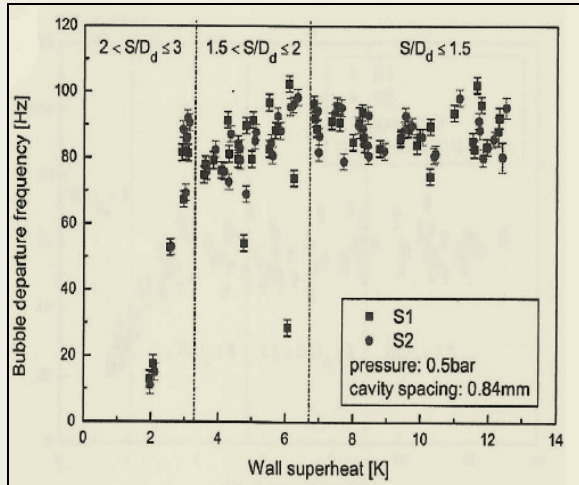
- ▶ A diferença entre o ΔT de duas cavidades foi sempre menor que 1K;
- ▶ D_d é a média de 5 bolhas para cada ΔT e cavidade;
- ▶ D_d representa apenas na qual não ocorrerem coalescência horizontal ou vertical;
- ▶ Frequência aumenta, atinge máximo e diminui (efeito mais visível em 0.5bar);
- ▶ O range grande do gráfico com scatter com o aumento da temperatura indica que a dependência da coalescência vertical é menos clara e adiciona incerteza a observação experimental

Resultados : Frequência de nucleação

- ▶ Para 1 bar a frequência de nucleação atinge um platô;
- ▶ O valor desse máximo é o mesmo para todos os espaçamentos;
- ▶ Para o aumento do espaçamento entre cavidades é necessário maior ΔT ;
- ▶ Nenhuma influência aparente do espaçamento;



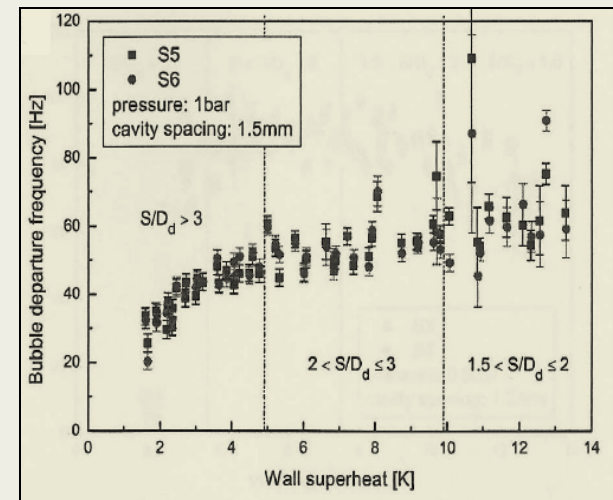
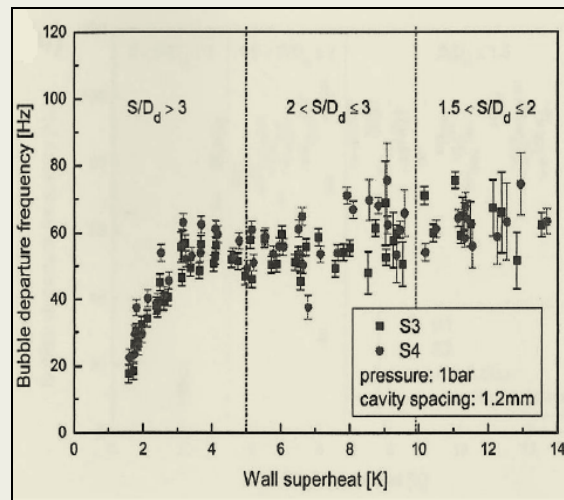
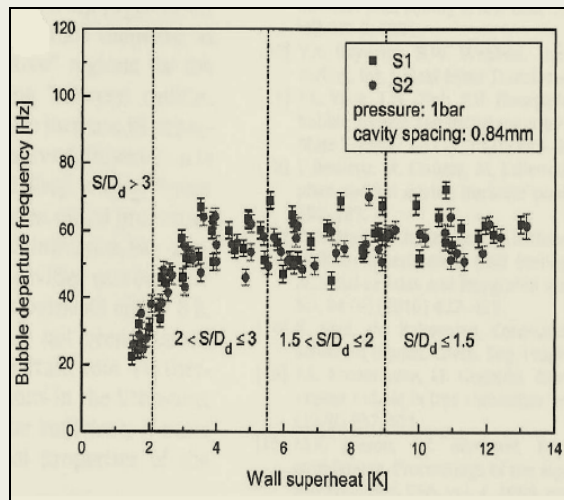
Resultados: Frequência de partida



- ▶ Frequência aumenta e depois atinge máximo;
- ▶ Nenhuma influência aparente do espaçamento;
- ▶ Platô atingido para mesmo ΔT ;

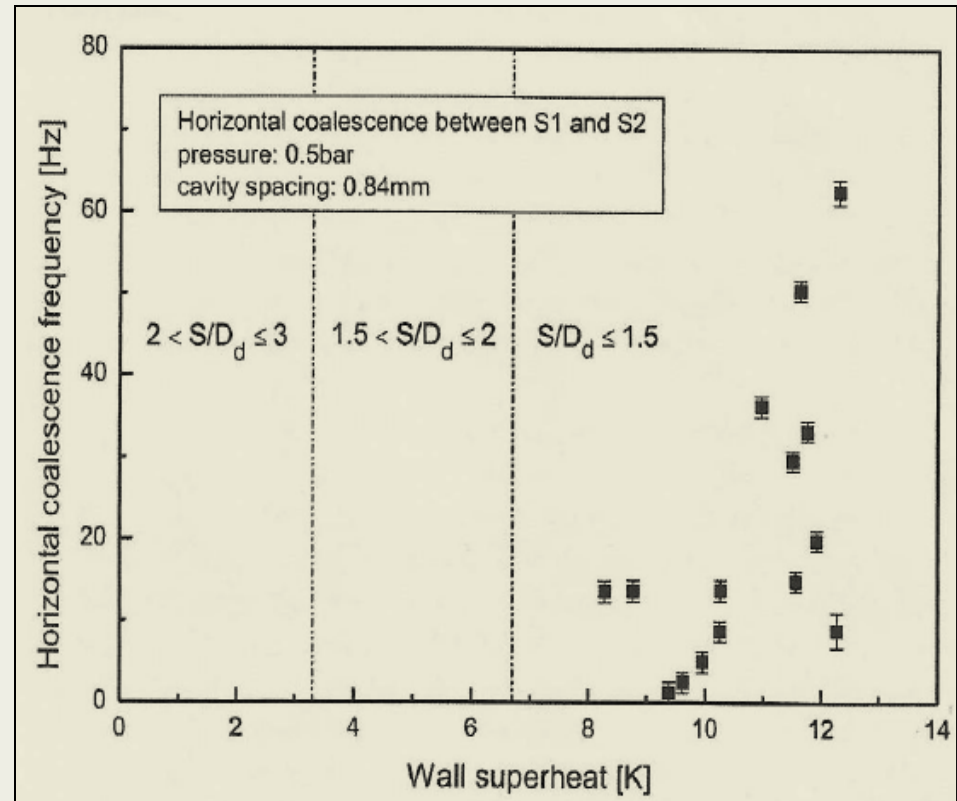
Resultados : Frequência de partida

- ▶ Frequência aumenta e depois atinge máximo;
- ▶ Nenhuma influência aparente do espaçamento;
- ▶ Não há padrão para atingir platô (ΔT vs espaçamento);



Resultados : Coalescência Horizontal

- ▶ Cavidades S1 e S2 em 0.5bar;
- ▶ Bolhas coalesceram a partir de $\Delta T = 8K$;
- ▶ Fenômeno sem padrão com ΔT ;
- ▶ Coalescência vertical ocorreu, em alguns casos, para cada cavidade antes do fenômeno na horizontal;
- ▶ Após coalescência na horizontal não foi mais observado o fenômeno ocorrer verticalmente;



Conclusão

- ▶ Foi observado o aumento do diâmetro de partida com o aumento do espaçamento entre os sítios;
- ▶ Não foi possível comparar os resultados de Zhang e Shoji pois diferentes fluxos de calor foram utilizados;
- ▶ Diferenças entre as propriedades do líquido podem influenciar os limites e influencia de cada região;
- ▶ Os critérios de interação de bolhas devem levar em consideração também as propriedades térmicas do substrato.

