

ANÁLISE NUMÉRICA DO DIAGRAMA DE FUNCIONAMENTO DE UM CIRCUITO BIFÁSICO COM BOMBEAMENTO POR EFEITOS DE CAPILARIDADE

Jefferson Gomes do Nascimento, jeffersongomes@ufu.br¹

João Manoel de Oliveira Neto, joao_engmec@outlook.com²

José Ricardo Ferreira Oliveira, ricardoengmec@gmail.com²

Yves Bertin, yvesbertin@ensma.fr³

¹Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121 – Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38400-902.

²Universidade Federal de Campina Grande, Rua Aprígio Veloso, 882, Bloco BR, CEP 58429-140, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

³École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique, Poitiers, França

Resumo Os circuitos bifásicos de bombeamento por efeitos de termo capilaridade (BFDPT) são sistemas de transferência de calor passivo, muito utilizados na indústria aeroespacial (controle térmico de satélite). Este trabalho tem como principal objetivo analisar os dados experimentais de um circuito bifásico com bombeamento feito por efeitos de capilaridade, analisar a forma que os principais equipamentos da bancada experimental funcionam tanto teoricamente quanto análise dos dados experimentais. Além disso, objetiva-se fazer uma análise termodinâmica do ciclo de funcionamento desta bancada experimental no programa “Engineering Equation Solver” (EES), e fazer uma comparação entre uma análise teórica (ideal) do circuito com uma análise experimental (real).

Palavras-chave: Diagrama de funcionamento, forças de capilaridade, sistema bifásico e tubo de calor.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente um dos maiores desafios da engenharia é o controle térmico de produtos industrializados, como motores de veículos em geral (moto, carro, trem e etc.). Um controlador de temperatura representa uma parte de um sistema maior que pode depender do feedback (ciclos fechados) ou sem feedback (ciclos abertos). Fazer uso de uma máquina térmica sem saber seus limites de funcionamento, eventualmente, pode danificá-la. A temperatura de um processo deve ser conhecida de modo a ser controlada.

Conforme [6], [7] e [8], o tubo de calor é uma das notáveis realizações da física, da termodinâmica e da engenharia de transferência de calor deste século porque possui a habilidade única de transferir calor em grandes distâncias sem perdas consideráveis. As principais aplicações de tubos de calor lidam com problemas de proteção ambientais e de economia de energia. Tubos de calor tem emergido como uma solução alternativa estabelecida e efetiva para problemas térmicos, particularmente em aplicação onde grandes fluxos de calor são necessários e em situações onde há muitas combinações não uniformes de transferência de calor.

Conforme [1]-[5], existem dois tipos principais de circuitos bifásicos que utilizam bombeamento realizado por efeitos de capilaridade: *Capillary pumped loop* (CPL), descoberto nos Estados Unidos no final dos anos 60 e existem as *Loop heat pipe* (LHP) que foram descobertas na União das Repúblicas Socialistas Soviéticas no início dos anos 70. A diferença básica entre as CPL e as LHP é a posição do reservatório no ciclo, sendo que nas CPL, o reservatório é acoplado ao circuito separado do evaporador e nas LHP o reservatório é acoplado ao evaporador, como pode ser visto na Figura 1. Estes circuitos de controle térmico constituem uma das soluções mais competitivas entre os novos dispositivos de refrigeração atualmente desenvolvidos. Além disso, conforme [2]-esses dispositivos são capazes de transferir importantes quantidades de calor em longas distâncias graças à circulação do fluido pelo efeito de capilaridade e por causa das transformações de fase do fluido.

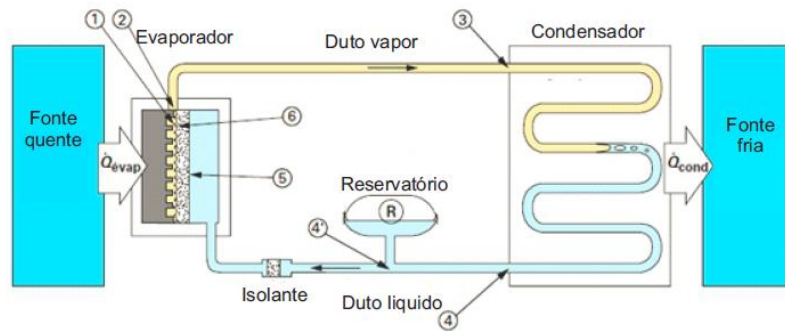


Figura 1 – Esquema de funcionamento de uma CPL.

Qualquer que seja o conceito de circuitos bifásicos, pode-se perceber que existem 3 locais onde é possível encontrar o fluido no estado de saturação: reservatório, evaporador (transformação do estado líquido para estado gasoso) e no condensador (transformação do estado gasoso para o estado líquido).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO

Para análise numérica, foram utilizados os valores de temperatura dados pelos termopar tipo T e pressão fornecidas pelas sondas PT100, conforme Fig. 2 (a) e o a de pressão absoluta e medidores de vazão como pode ser observado Fig. 2 (b).

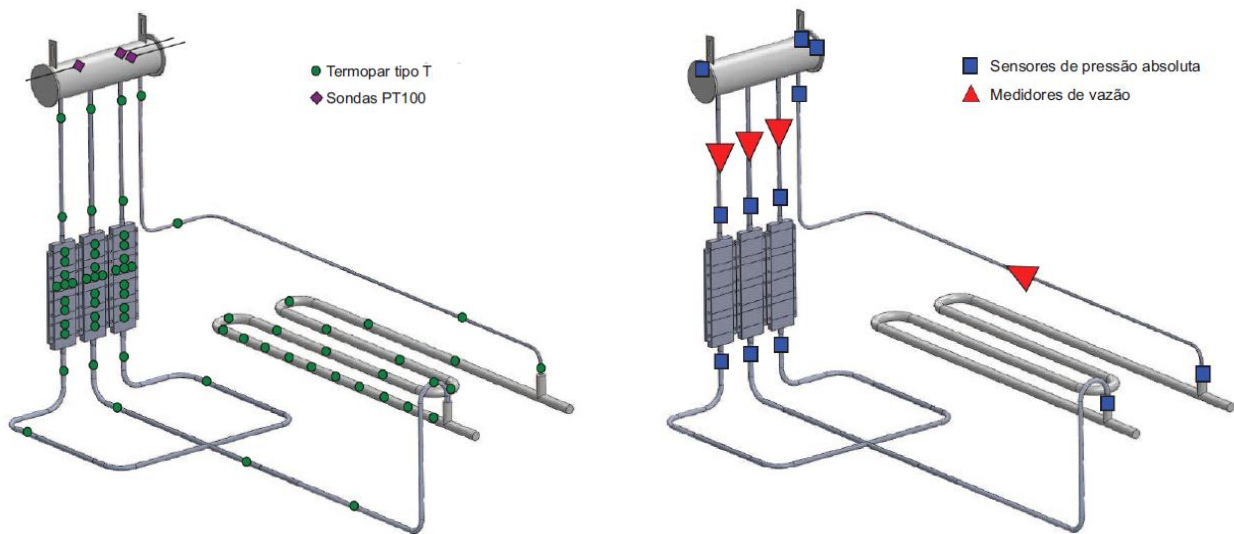


Figura 2 – a-) Esquema de funcionamento de uma CPL. b-) Posicionamento dos sensores de pressão e medidores de vazão.

3. ANÁLISE TEÓRICA (CONDIÇÃO IDEAL)

De acordo com [9] para-se compreender os pontos chave do sistema, deve-se seguir o diagrama (pressão por temperatura) representado pela Figura 3.

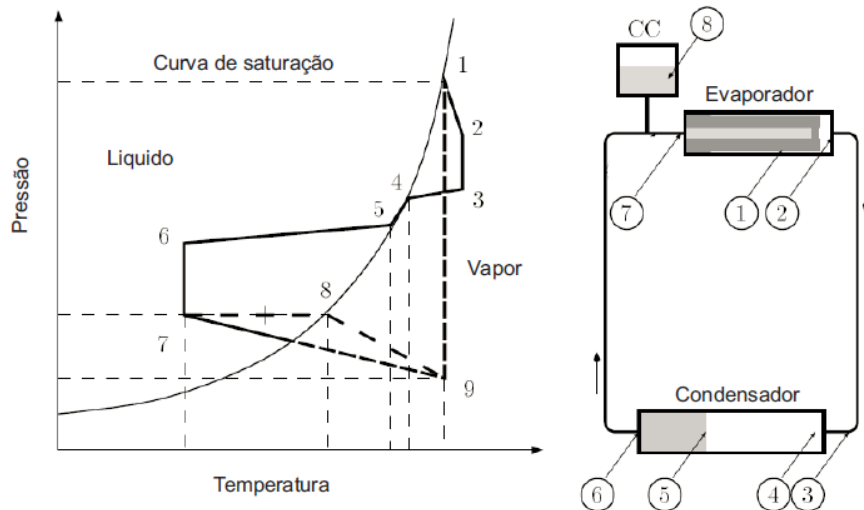


Figura 3- Diagrama de funcionamento de uma CPL.

- Ponto 1 é a temperatura no centro do evaporador, região de saturação do mesmo.
- Ponto 1 ao ponto 2, ocorre uma leve perda de pressão, e um pequeno aumento de temperatura, o ponto 2 está localizado na saída do evaporador.
- Ponto 2 ao ponto 3, na condição ideal do duto de vapor estar bem isolado do meio externo, considera-se que a temperatura permanece constante neste trajeto, porém ocorre uma pressão, o ponto 3 está localizado na entrada do condensador.
- Ponto 3 ao ponto 4, a temperatura reduz, pois o fluido entrou no condensador, e a uma pequena redução na pressão, o ponto 4 está localizado na parte inicial do condensador, aonde o fluido ainda não mudou de fase.
- Ponto 4 ao ponto 5, consiste na primeira etapa de condensação, ou seja, ocorre o resfriamento do vapor até a condição de condensação. Ponto 5 ao ponto 6, o resto do condensador, as trocas de calor convectivas são monofásicas e consiste num resfriamento do fluido.
- Ponto 6 (saída do condensador) ao ponto 7 (entrada do evaporador), considera-se que neste duto a troca de calor com o meio externo na condição ideal é nula, ou seja, a temperatura permanece constante, e ocorre um aumento da pressão, o ponto 8 é a entrada do evaporador e o ponto 9 é o ponto de saturação do reservatório.

Utilizando-se a Figura 4, foi feita uma análise dos principais pontos do circuito, sendo que, os dados experimentais foram feitos levando em conta a utilização do fluido metanol.

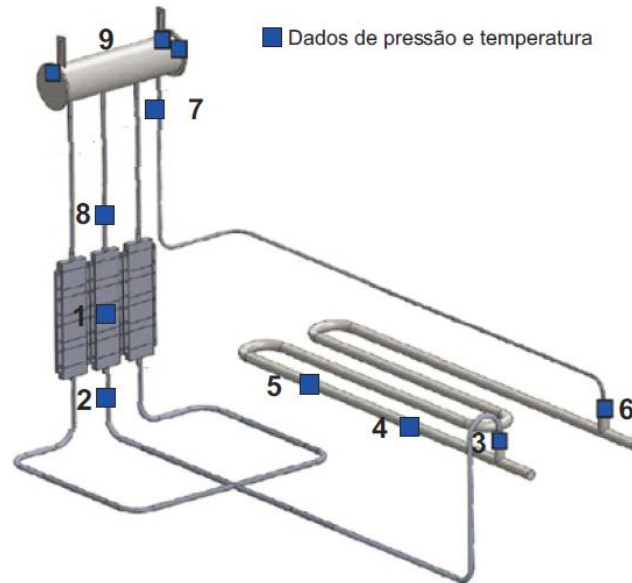


Figura 4 - Pontos de pressão e temperatura.

Legenda:

Ponto 1 - Meio poroso do evaporador.

Ponto 2 - Saída do evaporador.

Ponto 3 - Entrada do condensador.

Ponto 4 - Início de condensação.

Ponto 5 - Líquido saturado.

Ponto 6 - Saída do condensador.

Ponto 7 - Fim do duto líquido (entrada reservatório).

Ponto 8 - Saída do reservatório.

Ponto 9 - Reservatório.

Nos circuitos com bombeamento por efeitos de capilaridade, o salto de pressão capilar imposto pelo evaporador deve equilibrar-se com a queda de pressão do fluido no circuito. Existem diferentes tipos de queda de pressão que devem ser levadas em conta como: viscosidade do fluido, geometria do duto, presença da zona bifásica, presença do meio poroso no evaporador, no condensador, gravidade no sistema, duto de líquido e duto vapor.entre outras, basicamente a queda de pressão no Sistema é dada pela Equação 1.

$$\Delta p_{cap} = \Delta p_{evap} + \Delta p_{cond} + \Delta p_g + \Delta p_{dv} + \Delta p_{dl} \quad (1)$$

Onde;

Δp_{cap} - queda de pressão capilar ou total.

Δp_{evap} - queda de pressão no evaporador.

Δp_{cond} - queda de pressão no condensador.

Δp_g - queda de pressão devido a gravidade.

Δp_{dv} - queda de pressão no duto vapor.

Δp_{dl} - queda de pressão no duto líquido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi feito a análise da queda de pressão do sistema levando em conta a potência da fonte em 1500 [W]. A Tabela 1 representa os dados de pressão e temperatura para os pontos de análise conforme Figura (4). A análise dos dados experimentais foram feitas utilizando-se o software “Engineering Equation Solver”(ESS).

Tabela 1 – Pontos de temperatura e pressão a 1500W.

Ensaio [1500W]		
Ponto	Temperatura [°C]	Pressão [bar]
1	85,829	1,86403
2	79,0666	1,85403
3	79,34	1,85228
4	67	1,85224
5	65	1,8522
6	19,98	1,85216
7	21,0257	1,80542
8	34,0849	1,83271
9	79,7655	1,787633

A Figura 5, representa a queda de pressão no circuito com potência de 1500W. Observa-se que esses pontos tiveram o mesmo comportamento do gráfico da Figura 46 com exceção do ponto 8, pois diferente da bancada teórica existe uma queda de pressão devida a posição do reservatório na bancada experimental.

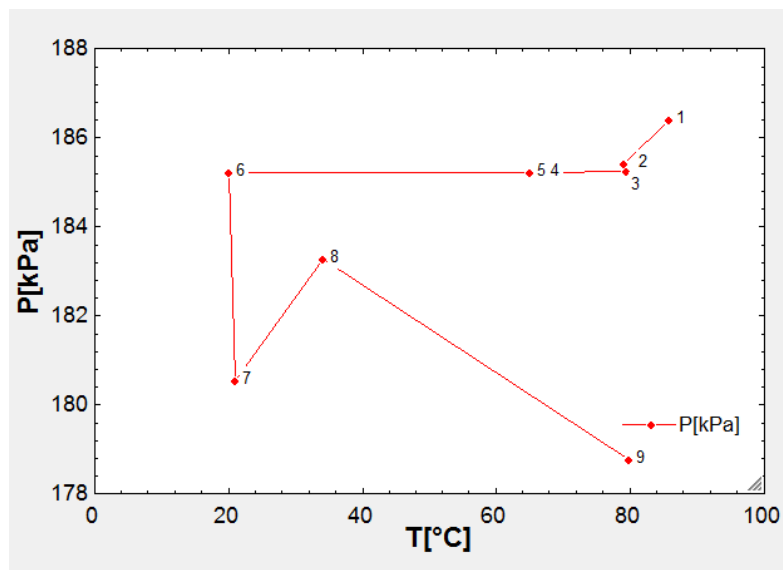


Figura 5 - Pontos de pressão e temperatura.

Tabela 2 representa os dados de pressão, temperatura, entalpia, entropia e volume específico para o circuito em análise.

Tabela 2 - Análise termodinâmica a 1500W.

Pontos	P [kPa]	T [°C]	T[K]	h [kJ/kg]	s[kJ/kg-K]	v[m ³ /kg]
1	186,4	85,83	358,98	85,04	0,1378	0,4715
2	185,4	79,07	352,22	-1008	-2,949	0,001363
3	185,2	79,34	352,49	-1007	-2,946	0,001364
4	185,2	67	340,15	-1043	-3,05	0,001341

5	185,2	65	338,15	-1048	-3,067	0,001337
6	185,2	19,98	293,13	-1168	-3,446	0,001264
7	180,5	21,03	294,18	-1165	-3,437	0,001266
8	183,3	34,08	307,23	-1132	-3,326	0,001286
9	178,8	79,77	352,92	-1005	-2,943	0,001365

5. CONCLUSÃO

Foi feita uma comparação entre a condição ideal e a condição real de queda de pressão do sistema, o comportamento do gráfico na condição real se assemelhou bastante a condição teórica (ideal), com diferença de que nos dutos líquido e vapor ocorre uma certa variação de temperatura, pois o sistema não é adiabático, mas mesmo assim, a variação da temperatura foi pouca, mostrando que o sistema foi bem isolado do meio ambiente e ocorreu uma diferença em relação a queda de pressão do sistema devida ao posicionamento do reservatório em relação ao evaporador pois pelos dados observou-se uma grande queda de pressão entre esses pontos do sistema.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico) e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de MG) e a ENSMA (École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique) pela concessão de bolsa de estudo e apoio na pesquisa.

7. REFERENCIAS

- [1] BERTIN, Yves., ZITOUN Ratiba., POTIN-SINAPAYEN, rapport de stage d'ingenieur, Instrumentacion d'une boucle diphasique.
- [2] BERTIN, Yves., AYEL, Vincent, DORIGNAC, Eva, TSCHILL, Hugues, rapport de stage d'ingénieur, Mise en place et experimentation d'une boucle diphasique á pompage capillaire.
- [3] BERTIN, Y.; AYEL, V.; ALEXANDRE, A. Transferts de Chaleur en Diphasique- Partie II: Thermosiphons, Caloducs tournants, V.C.H.P., Micro-caloducs, boucles diphasiques et caloducs oscillants – Cours A3 (Thermique), 2014.
- [4] BERTIN, Y.; ZITOUN, R.; SINAPAYEN, P. Rapport de stage d'ingenieur, Instrumentacion d'une boucle diphasique, 2011.
- [5] BERTIN, Y.; AYEL, V.; DORIGNAC, E.; Rapport de stage d'ingénieur, Mise en place et experimentation d'une boucle diphasique á pompage capillaire, 2012.
- [6] BONJOUR, Jocelyn., LEFEVRE, Frédeéric., SARTRE, Valérie., BERTIN, Yves., ROMESTANT, Cyril., AYEL, Vincent., PLATEL, Vincent., Boucles capillaires et gravitaires, Référence de l'article: B9 546.
- [7] FAGHRI, A. Heat pipe science and technology, 1995.
- [8] KEW, Peter., REAVY, David., Heat Pipes Theory, Design and Applications, fifth edition, 2006.
- [9] LACHASSAGNE, L.; BERTIN, Y.; AYEL, V.; ROMESTANT, C.; Applied Thermal Engineering – Experimental Study of Capillary Pumped Loop for Integrated Power in Gravity Field, 2012.
- [10] VASILIEV, L.L.; KAKAÇ, S. Solid Sorption Transformations, 2013.
- [11] ZOHURI, B. Heat Pipe Design and Technology- a practical approach, 2011.
- [12] ZOHURI, B. Heat Pipe Design and Technology, 2016.

8. RESPONSABILIDADE AUTORIAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE DIAGRAM OPERATION OF A BIPHASIC CIRCUIT WITH PUMPING EFFECTS BY CAPILLARITY

Jefferson Gomes do Nascimento, jeffersongomes@ufu.br¹

João Manoel de Oliveira Neto, joao_engmec@outlook.com²

José Ricardo Ferreira Oliveira, ricardoengmec@gmail.com²

Yves Bertin, yvesbertin@ensma.fr³

¹Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121 – Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38400-902.

²Federal University of Campina Grande, Aprigio Veloso Street, 882, Zip Code 58429-140, City of Campina Grande, State of Paraíba, Brazil.

³École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique, Poitiers, França

Abstract: The biphasic pumping circuits by thermal capillarity effects (BFDPT) are passive heat transfer systems, widely used in the aerospace industry (thermal control of satellite). The main objective of this work is to analyze the experimental data of a biphasic circuit with pumping done by effects of capillarity, to analyze the way that the main equipments of the experimental bench function as much theoretically as the analysis of the experimental data. In addition, it is aimed to make a thermodynamic analysis of the operating cycle of this experimental bench in the Engineering Equation Solver (EES) program, and to make a comparison between a theoretical (ideal) analysis of the circuit with an (real) experimental analysis.

Keywords: Diagram of operation, capillarity forces, biphasic system and heat pipe.