

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA BOMBA

Pedro Pedrosa REBOUÇAS FILHO; Heitor Victor Ribeiro CAMARGO

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Av. 13 de maio, 2081, e-mail: lem@cefetce.br

RESUMO

Sistemas de bombeamento capilar são utilizados e testados com sucesso nas operações de controle térmico em situações de microgravidade há pelo menos duas décadas. Uma das aplicações estudadas atualmente é seu uso em refrigeração de computadores, em substituição ao sistema convencional de cooler aletado. Desta forma, pesquisas são direcionadas para a miniaturização dos sistemas bifásicos de transferência de calor. Com a finalidade de inserir a instituição no âmbito da pesquisa nacional, aliado ao seu já reconhecido e bem sucedido modelo tecnológico, um trabalho com bombas capilares de ranhuras circunferenciais está sendo desenvolvido. Este projeto é uma continuação dos trabalhos já em andamento no LabCET – UFSC, visando dar continuidade aos últimos experimentos realizados durante a Missão Centenário, com o envio de um protótipo do sistema para teste na ISS (Estação Espacial Internacional) pelo astronauta Marcos Pontes. A pesquisa conta com uma bancada instalada no Laboratório de Ensaios Mecânicos – LEM do CEFET – CE. Esta bancada é constituída por uma bomba capilar de ranhuras circunferenciais, funcionando com água como fluido de trabalho, um condensador em contracorrente, linhas de líquido e vapor e instrumentada com 18 termopares do tipo K ligados a um sistema de aquisição de dados. Para isto foi desenvolvida uma ferramenta de dimensionamento em linguagem C++ capaz de determinar a capacidade limite de transferência de calor e o comportamento hidrodinâmico da bomba capilar. Neste programa podem ser escolhidos diversos fluidos de trabalho como água, Amônia, Acetona e Freon 11, pode-se optar também pelo tipo de bomba capilar, o ângulo de posicionamento da régua no seu interior, as dimensões das ranhuras circunferenciais, a geometria do circuito, a pressão real de bombeamento capilar. Configurando o programa de acordo com a bancada utilizada verifica-se que os resultados foram bem próximos do real, embora o cálculo não leve em consideração uma pequena parcela do calor que é transferida para o canal de alimentação de líquido da bomba capilar.

Palavras-chave: simulação, método dos volumes finitos, tratamentos térmicos, condução de calor

INTRODUÇÃO

No sentido de corresponder às necessidades associadas à dissipação térmica em componentes eletrônicos, a tecnologia de tubos de calor tem evoluído para circuitos de bombas capilares (CPL – Capillary Pumped Loop). CPL'S têm sido exaustivamente testados para garantir um funcionamento estável como sistemas de refrigeração de componentes eletrônicos utilizados em satélites e estações espaciais. Eles têm comprovada eficiência em testes de laboratório e em testes de microgravidade [1,2]. Para torná-los ainda mais confiáveis e competitivos, pesquisas iniciadas na UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) seguem agora também no CEFET – CE (Centro Federal de Ensino Tecnológico do Ceará) dando continuidade aos trabalhos e visando iniciar pesquisas avançadas na área da refrigeração no CEFET – CE. Este projeto é uma continuação dos trabalhos já em andamento no LabCET – UFSC, visando dar continuidade aos últimos experimentos realizados durante a Missão Centenário, com o envio de um protótipo do sistema para teste na ISS (Estação Espacial Internacional) pelo astronauta Marcos Pontes.

Um circuito de bombas capilares é um sistema de refrigeração de dupla fase, que não necessita de bombeamento mecânico para a circulação do fluido térmico. Forças capilares desenvolvidas a partir das tensões superficiais geradas entre o contato líquido – sólido do fluido de trabalho e a parede microranhurada interna do evaporador, ou elemento poroso contido no seu interior são capazes de promover a circulação do fluido térmico sem a necessidade de bombeamento externo e sem a inserção de partes móveis e potência externa para o seu funcionamento [3,4]. Um sistema básico de bombeamento capilar é composto por um evaporador capilar, um condensador, um reservatório e linhas de transporte de líquido e vapor.

SISTEMA DE BOMBEAMENTO CAPILAR

Em sistemas de bombeamento capilar, a tensão superficial gerada pelo contato entre o fluido de trabalho e a parede ou poro interno fornece uma diferença de pressão que é capaz de circular o fluido de trabalho ao longo do sistema, contrabalanceando as perdas de carga geradas no circuito [5]. A circulação do fluido de trabalho em uma bomba de ranhuras circunferenciais acontece da seguinte maneira: líquido proveniente do condensador chega às ranhuras através do canal de líquido interno da bomba capilar e flui pelas ranhuras circunferenciais até a parte superior do evaporador, onde recebe calor proveniente da fonte quente que se deseja resfriar. Esse calor faz com que o fluido no interior das ranhuras se evapore, fazendo com que o líquido que estava no canal de líquido da bomba comece a se movimentar. O vapor gerado aumenta a pressão interna do evaporador. Esse aumento de pressão faz com que o restante do líquido e vapor na saída do evaporador se desloque em direção ao condensador, iniciando assim a movimentação do fluido de trabalho [6].

Uma maior ou menor força de tensão superficial vai depender da estrutura capilar e da escolha do fluido de trabalho. A capacidade de bombeamento capilar desses sistemas está também relacionada com o tamanho das ranhuras ou poros presentes na estrutura capilar. Quanto menor esses valores, maior será a capacidade de superar a perda de carga no circuito e transportar o calor até o condensador. Não se pode deixar de observar que, para um bom funcionamento do sistema, quanto maior a permeabilidade maior será a facilidade com que o fluido de trabalho atravessará o elemento capilar [7]. Testes demonstram que apesar de possuir pequenos diâmetros de poros e uma grande pressão de bombeamento capilar, uma baixa permeabilidade conduz a baixas taxas de transferência de calor.

O limite capilar, quantidade máxima de calor transportado, está relacionado com a perda de carga no circuito. A pressão desenvolvida pelos meniscos (pressão de bombeamento capilar) sustenta esta perda de carga gerada pelo escoamento ao longo do circuito. Este escoamento está diretamente relacionado com o fluxo de calor imposto à bomba capilar. O máximo fluxo de massa que a pressão capilar pode sustentar corresponde a um fluxo de calor máximo que está relacionado

ao limite capilar. Qualquer tentativa de exceder esse valor irá secar a região do evaporador e elevar repentinamente a temperatura na parede do evaporador [8].

De acordo com Young-Laplace [9], a máxima pressão de bombeamento capilar é dada por:

$$\Delta p_c = \frac{2\sigma \cos(\theta)}{r_c} \quad (1)$$

onde: Δp_c = Máxima pressão de bombeamento capilar;

σ = Tensão superficial do líquido refrigerante;

r_c = Raio efetivo de capilaridade;

θ = Ângulo entre o menisco e a estrutura capilar.

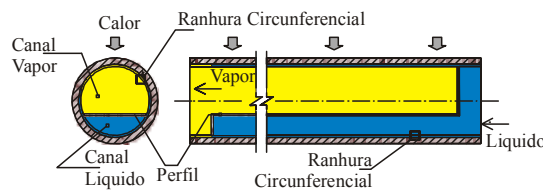
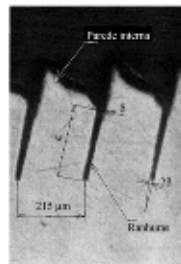


Figura 1 – Bomba capilar de ranhuras circunferenciais.



Dimensões médias da ranhura:

$$\delta = 33 \pm 7 \mu\text{m}$$

$$w = 310 \pm 59 \mu\text{m}$$

$$\beta = 0,6 \pm 0,4^\circ$$

Espaçamento entre ranhuras: 215 μm

Figura 2 – Micrografia da ranhura capilar.

No presente trabalho uma bomba capilar de ranhuras circunferenciais é utilizada em uma bancada de testes especialmente construída para operar em laboratório. Na Figura 1 é mostrado um esquema da configuração interna do evaporador capilar. Ele é constituído por um tubo circunferencialmente ranhurado, com uma régua de aço fazendo a divisão entre os canais de líquido e de vapor do evaporador. Essa régua é apoiada em calços de Teflon® e nas extremidades opostas fechado com plugues de Teflon®. A finalidade desses calços e plugues é reduzir ao máximo a presença de interstícios entre a régua interna e a parede ranhurada do tubo e garantir que a única passagem entre os canais de líquido e vapor seja através das ranhuras circunferenciais. Na Figura 2 é mostrada uma micrografia da parede interna do tubo de alumínio, detalhando a forma e o tamanho das ranhuras internas presentes no evaporador capilar. O sistema desenvolvido dimensiona a bomba capilar para diversos tipos de geometria e tipos de bomba (Ranhuras Circunferenciais, Monogroove e Elemento Poroso), levando em consideração vários tipos de fluido (Água, Freon 113, Acetona e Amônia).

MODELO MATEMÁTICO DO DIMENSIONAMENTO DA BOMBA CAPILAR

O limite capilar é proporcional aos parâmetros geométricos da bomba capilar (ver Figura 3) devendo determinar a capacidade máxima de transporte de calor no momento em que:

$$p_{cm} - \Delta p_{cp} - \Delta p_{loop} = 0 \quad (2)$$

onde p_{cm} é a máxima pressão de bombeamento capilar, Δp_{cp} é a queda de pressão dentro da bomba capilar e Δp_{loop} é a queda de pressão ao longo do circuito. Teoricamente, a máxima pressão de bombeamento capilar é dada por:

$$p_{cm} = \frac{2 \cdot \sigma}{r_c} \quad (3)$$

onde σ é a tensão superficial do fluido de trabalho e r_c é o raio efetivo de capilaridade da ranhura. O raio efetivo de capilaridade pode ser calculado, segundo a formulação descrita em Bazzo (1996), por:

$$r_c = 2 \cdot \frac{\cos \beta}{1 - \sin \beta} \cdot \left(\frac{w}{2} - \delta \cdot \tan \beta \right) \quad (4)$$

nde β é o ângulo metade da abertura da ranhura, δ é a profundidade da ranhura e w é a largura da ranhura.

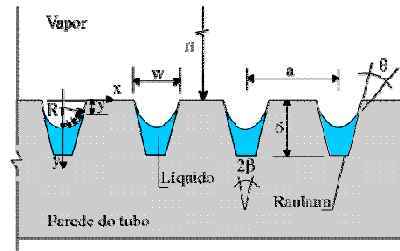


Figura 3 – Parâmetros geométricos da bomba capilar.

O fluxo de massa ao longo da ranhura diminui devido ao processo de evaporação do fluido térmico, com a hipótese de variação linear ao longo da ranhura e condição de secagem no topo ($\psi = \pi/2$), e é calculado por:

$$\dot{m} = \left(\frac{\pi}{2} - \psi \right) r_i \frac{q'}{\Delta h} \quad (5)$$

onde q' é a quantidade de calor que é aplicada na bomba capilar, ψ representa a posição na ranhura (ver Figura) e Δh a diferença de entalpia. A variável ψ tem origem junto ao perfil interno da bomba capilar, sendo neste ponto igual a ψ_0 . Por sua vez, a diferença de entalpia Δh compreende o valor do calor latente de vaporização (h_{fg}) e o ganho de calor sensível, ou seja:

$$\Delta h = h_{fg} + c_{p1}(T_v - T_l) \quad (6)$$

onde c_{p1} é o calor sensível do líquido, T_v e T_l são as temperaturas do vapor e líquido respectivamente.

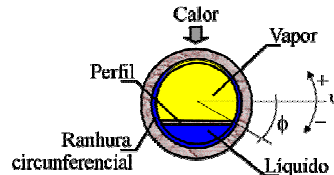


Figura 4 – Esquema mostrando o posicionamento do perfil interno da bomba capilar.

Se a perda de carga ao longo do circuito não for considerada, a pressão do líquido em $\psi = \psi_0$ será igual à pressão do vapor. Caso esta perda de carga seja diferente de zero, a pressão do líquido no mesmo ponto será menor que a pressão do vapor e igual a:

$$p_l(\psi = \psi_0) = p_v - \Delta p_{loop} \quad (7)$$

onde p_v é assumido igual à pressão de saturação como função da temperatura de operação do circuito, controlada através do reservatório. Conforme mostrado na Figura 5: p_v é a pressão de vapor dentro do canal de vapor e $p_l(\psi)$ é a pressão do líquido dentro do canal de líquido da bomba capilar. Na Eq. (7) o termo Δp_{loop} é calculado utilizando correlações existentes disponíveis na literatura (Fox and McDonald, 1988). Na Eq. (2), o termo Δp_{cp} é calculado considerando as características geométricas da estrutura capilar, o fluxo de massa (\dot{m}), velocidade do líquido (v), área da secção transversal (A), ângulo de contato do menisco (θ), raio do menisco (R_1), e a posição do menisco desde a superfície interna do tubo (y), ao longo do comprimento da bomba capilar (ver Figura 5).

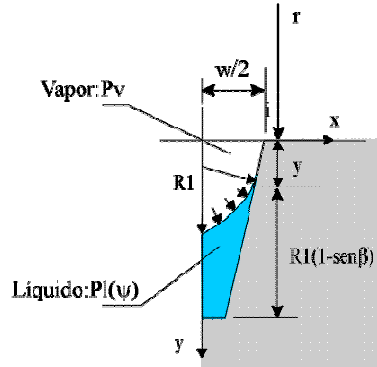


Figura 5 – Esquema da metade da ranhura e parâmetros principais.

A pressão do líquido diminui na medida em que avança ao longo da ranhura, devido à perda de carga. Como consequência, forçado pela pressão maior do vapor, o menisco recua até um novo valor de R_1 , que corresponda ao novo equilíbrio governado pela equação de Young-Laplace (ver Peterson, 1994). O valor de R_1 é calculado por:

$$R_1(\psi) = \frac{\sigma}{p_v - p_l(\psi)} \quad (8)$$

Para cada valor de ψ , a posição do menisco relativamente ao topo da ranhura pode ser calculada por:

$$y = \left[\delta - \frac{r_c}{2} (1 - \sin \beta) \right] \left[\frac{2R_1 \cos \beta - w}{r_c \cos \beta - w} \right] \quad (9)$$

Para pequenas potências $y = 0$. Não há recuo do menisco e o ângulo formado com a parede da ranhura θ é dado por

$$\theta = \arccos \left(\frac{w}{2R_1} - \beta \right) \quad (10)$$

A partir do instante em que $R_1 \cos(\beta) \leq \frac{w}{2}$, assume-se θ igual a zero. O menisco retrocede e o valor de y cresce até que ocorra secagem da ranhura e colapso da bomba capilar.

A velocidade do líquido ao longo da ranhura pode ser calculada como sendo:

$$v_i = \frac{1}{\rho_l A_i} r_i \frac{q'}{\Delta h} \quad (11)$$

onde A_i é a área transversal do filete de líquido dentro da ranhura.

Finalmente, reportando-se à Eq. (12), a potência máxima aplicada se dará quando:

$$p_{cm} - \sum \Delta p_i - \Delta p_{loop} = 0 \quad (12)$$

Com base nas equações acima, foi montado um programa computacional em Visual C++ capaz de determinar a capacidade limite de transferência de calor e o comportamento hidrodinâmico da bomba capilar. O modelo não leva em conta uma pequena parcela de calor, que é transferida para o canal de alimentação de líquido da bomba capilar.

O programa pode ser utilizado para projetar um sistema que atenda a uma necessidade específica, onde as dimensões das ranhuras podem ser variadas até que a carga determinada seja rejeitada pelo sistema, dependendo da escolha de todas as variáveis envolvidas.

Com a evolução do programa, a bomba capilar de elemento poroso foi introduzida com a finalidade de atender uma maior gama de projetos. Para isso, novas equações foram deduzidas de acordo com o equacionamento abaixo, onde a perda de carga nos canais da ranhura circunferencial foi substituída pela perda de carga no interior do elemento poroso.

A equação de Forchheimer foi colocada no lugar da equação de Darcy, por esta ser uma extensão desta última e é dada por:

$$-\nabla P = \frac{\mu}{K} v + \beta \cdot \rho \cdot v^2 \quad (13)$$

onde o primeiro termo representa a equação de Darcy e o segundo o acréscimo relativo a parcela cinética do escoamento e

$$\beta = \frac{1}{k_2} \quad (14)$$

$$k_2 = \frac{D_c \cdot \varepsilon^3}{1,75(1 - \varepsilon)} \quad (15)$$

De modo mais formal, a equação de Forchheimer em coordenadas polares pode ser escrita por:

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot A_w \cdot k_1} + \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot A_w^2 \cdot k_2} \quad (16)$$

e

$$k_1 = \frac{D_c^2 \cdot \varepsilon^3}{150(1 - \varepsilon)^2} \quad (17)$$

Na equação de Forchheimer os coeficientes K1 e K2 podem ser calculados por fatores geométricos ou inseridos os valores medidos em laboratório. Já o fluxo de massa é calculado por:

$$\dot{m} = \frac{q}{h_{ls}} \quad (18)$$

A área de passagem é dada por:

$$A_w = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L_{eff} \quad (19)$$

Substituindo os valores da área dada acima na Equação (16), tem-se:

$$\frac{dP}{dr} = \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L_{eff}} + \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot k_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot L_{eff})^2} \quad (20)$$

Multiplicando ambos os lados por dr, tem-se:

$$dP = \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \cdot \frac{1}{r} \cdot dr + \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot k_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot L_{eff})^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot dr \quad (21)$$

Com a integração de ambos os lados desde o raio interno do elemento poroso até o raio externo, tem-se:

$$\int dP = \int \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \cdot \frac{1}{r} \cdot dr + \int \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot k_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot L_{eff})^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot dr \quad (22)$$

e

$$\Delta P = \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \int \frac{1}{r} \cdot dr + \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot k_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot L_{eff})^2} \int \frac{1}{r^2} \cdot dr \quad (23)$$

daí

$$\Delta P = \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \ln(r) \Big|_{r_{int}}^{r_{ext}} + \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot k_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot L_{eff})^2} \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_{r_{int}}^{r_{ext}} \quad (24)$$

finalmente,

$$\Delta P = \frac{\mu_l \cdot \dot{m}_l}{\rho_l \cdot k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \ln \left(\frac{r_{ext}}{r_{int}} \right) + \frac{\dot{m}_l^2}{\rho_l \cdot k_2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot L_{eff})^2} \left(\frac{1}{r_{int}} - \frac{1}{r_{ext}} \right) \quad (25)$$

Agrupando-se os termos, tem-se a equação final utilizada no programa para o cálculo da perda de carga no interior do elemento poroso:

$$\Delta P_{BC} = \frac{\dot{m}_l}{\rho_l \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \left[\left(\frac{\mu_l}{k_1} \ln \frac{r_{ext}}{r_{int}} \right) + \frac{\dot{m}_l}{k_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L_{eff}} \left(\frac{r_{ext} - r_{int}}{r_{ext} \cdot r_{int}} \right) \right] \quad (26)$$

A perda de carga total no caso das bombas de elementos porosos (ΔP_{BC}) é composta pelo somatório da perda de carga no canal de líquido (ΔP_{li}), formado pelo tubo de raio interno do elemento poroso e seu comprimento efetivo, pela perda de carga no elemento poroso propriamente dito (ΔP_w), com o cálculo dado pelas equações abaixo e pela perda de carga nos canais de vapor (ΔP_{lv}), dado pelo somatório das áreas formadas pelas ranhuras axiais e dividido pelo fluxo de massa igualmente entre todas elas:

$$\Delta P_{BC} = \Delta P_{li} + \Delta P_w + \Delta P_{lv} \quad (27)$$

A perda de carga na tubulação de líquido e de vapor é calculada a partir de:

$$\Delta P = f \cdot \rho \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2} \quad (28)$$

onde, dependendo da linha de líquido ou de vapor, o fator de atrito pode ser dado por:

$$f_{li} = \frac{64}{Re_{li}} \quad (29)$$

ou

$$f_{va} = \frac{64}{Re_{va}} \quad (30)$$

onde o número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu} \quad (31)$$

e caso o valor de Reynolds seja maior que 2300, a equação para o fator de atrito da linha de vapor deve ser substituída por:

$$f_{va} = \frac{0,3164}{Re_{va}^{0,25}} \quad (32)$$

O cálculo do diâmetro hidráulico é dado por:

$$D_h = 4 \frac{A}{P} \quad (33)$$

onde a área e o perímetro são calculados por:

$$A = n_{Ra} \cdot a \cdot b \quad (34)$$

e

$$P = 2 \cdot n_{Ra} \cdot (a + b) \quad (35)$$

onde a e b são os comprimentos dos lados da ranhura e são calculados por:

$$a = r_i - r_{ext} \quad (36)$$

e

$$b = \frac{\pi \cdot r_i}{n_{Ra}} \quad (37)$$

E o valor da velocidade no interior dos canais é dado por:

$$v = \frac{4 \cdot q}{h_{lv} \cdot \rho \cdot \pi \cdot D^2} \quad (38)$$

A Figura 6 ilustra o programa desenvolvido na linguagem de programação C++, possibilitando simular os cálculos citados anteriormente, consequentemente dimensionar a bomba utilizada para cada projeto específico.

Configuração do Fluido de Trabalho

Tipo de fluido de trabalho: Água

Temperatura do líquido (Kelvin): 300

Temperatura do vapor (Kelvin): 300

Bomba Capilar

Tipo de bomba capilar: Ranhuras Circunferenciais

Geometria Bomba Capilar

Ângulo de abertura da ranhura (Graus): 0.6

Raio interno da bomba capilar (mm): 9.05

Profundidade da ranhura (micrometros): 200

Largura da ranhura (micrometros): 33

Espaçamento das ranhuras (micrometros): 150

Comprimento da bomba capilar (cm): 9.5

Pressão de Bombeamento Capilar

Utilizar pressão real de bombeamento capilar ou teórica? ☐ Teórica ☒ Real 5000 Pa

Ranhuras

Quantidade de calor inicial (Watts): 1

Ângulo da régua em relação a horizontal (Graus): 30

Incluir perda de carga na tubulação? ☒ Sim ☐ Não

Geometria da Tubulação

Diâmetro da linha de vapor (mm): 2

Diâmetro da linha de líquido (mm): 2

Comprimento da linha de vapor (m): 2

Comprimento da linha de líquido (m): 2

☒ Cálculo parcial N° de iterações: 50

Resultados

Diferença de pressão: -98.34729

Pressão total na ranhura: 546.9244

Pressão capilar: 5000

Perda de carga no loop: 4551.423

Calor aplicado: 6.310006

Figura 6 – Tela do programa desenvolvido.

RESULTADOS

Com o uso do programa o gráfico da Figura 7 pode ser traçado, onde pode-se ver que a potência dissipada para cada tipo de bomba capilar e cada tipo de fluido de trabalho foi utilizado. Para diâmetros críticos pequenos de capilaridade, as bombas de elementos porosos são as mais indicadas para serem usadas, já para diâmetros maiores de diâmetro crítico, as bombas de ranhuras circunferenciais produzem resultados mais satisfatórios. Diâmetros maiores produzem pequenas pressões de bombeamento capilar em bombas capilares de elementos porosos e em contrapartida, uma perda de carga maior que as de ranhuras circunferenciais. Diâmetros críticos pequenos, por sua vez produzem uma grande pressão de bombeamento capilar, mas tem o inconveniente de produzir uma baixíssima permeabilidade, o que inviabiliza o seu uso.

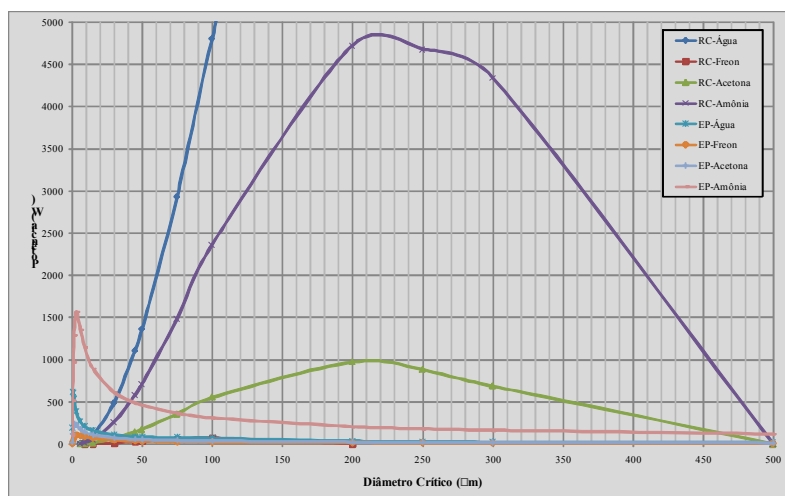


Figura 7: Resultados numéricos.

CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um programa em C++ orientado a objetos capaz de resolver dimensionar a bomba capilar a partir dos cálculos de cada bomba, levando em consideração vários tipos de fluídos . Com esse código foi possível simular o funcionamento da bomba etapa por etapa devido o sistema permitir isto.

Os resultados dessa simulação foram confirmados através de testes ao qual mostrou que a bomba dimensionada pelo programa suportou os testes realizados a partir de diversos métodos, como testes de partida, de reativação e de regime permanente.

Como contribuições para trabalhos futuros, sugerem-se a inserção de novos tipos de bombas e fluídos ao sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antoniuk, D., Pohner, J., **Deleterious Effect of Non Condensable Gas During Capillary Pumped Loop Start Up**, 24th International Conference on Environmental Systems and 5th European Symposium on Space Environmental Control Systems, Friedrichshafen, Germany, June 20-23, 1994.
2. Bazzo, E. and Camargo, H. V. R., **Circumferentially Microgrooved Capillary Evaporators: Ground and Microgravity Experimental Results**, Proc. 14th International Heat Pipe Conference – 14th IHPC, Florianópolis, 2007;
3. Bazzo, E. and Reimbrecht, E.G.; **Centenary Mission AEB/MCT-ISS-MCENT CEM Capillary evaporator microgravity experiment**; Technical Report, 400 pgs., Florianópolis, Brazil, April, 2006;
4. Bazzo, E., **Investigação Teórica e Experimental de Circuitos de Bombas Capilares**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 1996.
5. Bazzo, E., Groll, M., Brost, O., and Colle., S., **Bombas Capilares Aplicadas a Circuitos de Transferência de Calor de Doble-Fase**. Revista Informacion Tecnológica, Vol. 8, Fascículo 4, pp. 355 a 364, Chile, 1997.
6. Camargo, H. V. R. y Bazzo, E., **Comportamiento Térmico y Hidrodinámico de Bombas Capilares Con y Sin Presencia de Gases No Condensables**. Revista Información Tecnológica del Chile, Chile, v.13, n.1, p.13 - 19, 2002.
7. Camargo, H. V. R., **Avaliação Experimental e Teórica de Elementos Porosos Aplicados a Sistemas de Bombeamento Capilar**, Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2004.
8. Camargo, H. V. R., Bazzo, E., “Comportamiento Térmico e Hidrodinámico de Bombas Capilares con y sin a Presencia de Gases No Condensables”, Información Tecnológica, La Serena, Chile, 2002.
9. Camargo, H. V. R. e Bazzo, E. **Comportamento Térmico da Acetona e da Amônia como Fluidos de Trabalho em Bombas Capilares de Ranhuras Circunferenciais**, Proc. 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT 2006, Curitiba, 2006.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação e ao Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) do CEFET-CE e ao Conselho Nacional de Pesquisas e Desenvolvimento (CNPQ).