

MHP

Data: 14/11/2006 8:44 PM

MCENT

Page 1 of 18



Missão Centenário
Centenary Mission

MINI HEAT PIPE (MHP)

Relatório Final





MHP

MCENT

| Organização | Função /Nome |
|--------------------|---|
| | |
| UFSC | Orientadora: Marcia B. H. Mantelli |
| UFSC | Responsável técnico: Kleber Vieira de Paiva |
| UFSC | Responsável técnico- eletrônica: Raul Gohr |
| UFSC | Responsável técnico- eletrônica: Marcelo de Assis Côrrea |

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Apresentação..... | 7 |
| 1 Introdução..... | 7 |
| 2 Objetivos do experimento | 8 |
| 2.1 Mini tubo de calor..... | 8 |
| 2.2 Descrição do experimento | 10 |
| 3 Procedimento experimental | 13 |
| 4 Resultados..... | 14 |
| 5 Conclusão..... | 18 |
| 6 Agradecimentos | 18 |



MHP

MCENT

Doc. No.: MCENT-MHP

Data: 14/11/2006 8:44 PM

Page 4 of 18

Lista de Abreviações

| | |
|------|--|
| AEB | Agencia Espacial Brasileira |
| SAD | Sistema de aquisição de dados |
| MHP | Mini tubos de calor |
| UFSC | Universidade Federal de Santa Catarina |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Mini tubo de calor | 9 |
| Figura 2: Módulo de vôo do experimento MHP | 10 |
| Figura 3: Suporte dos mini tubos de calor | 11 |
| Figure 4: Módulo de aquisição de dados..... | 12 |
| Figura 5: Módulo de aquisição de dados..... | 13 |
| Figura 6: Comparação entre os testes em laboratório e em microgravidade para o mini tubo carregado com 0,500 ml de água destilada. | 15 |
| Figura 7: Resistências térmicas totais do mini tubo carregado com 0,500 ml de água destilada | 16 |
| Figura 8: Comparação entre os testes em laboratório e em microgravidade para o mini tubo carregado com 0,300 ml de água destilada. | 17 |
| Figura 9: Resistências térmicas totais do mini tubo carregado com 0,500 ml de água destilada | 17 |



MHP

MCENT

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Descrição dos equipamentos | 12 |
| Tabela 2: Descrição dos ciclos..... | 14 |
| Tabela 3: Descrição do 1° e do 3° ciclo..... | 14 |
| Tabela 4: Descrição do 2° e do 4° ciclo..... | 14 |

Apresentação

Este relatório final apresenta as atividades desenvolvidas dentro do Projeto de Experimento em Microgravidade intitulado: “Mini tubos de calor”, realizado no contexto da Missão Centenário, que incluía os testes em microgravidade a bordo da estação Espacial Internacional ocorrido nas primeiras semanas do mês de abril de 2006. Como é de conhecimento geral, a realização dos experimentos fez parte da primeira viagem espacial de um brasileiro. O vôo do Ten. Cel. Av. Marcos César Pontes ocorreu no centro de lançamento de Baikonur no Cazaquistão e fez parte da missão Souyz TMA 08.

1 Introdução

O Laboratório de Energia Solar – Núcleo de Controle Térmico de Satélites (LABSOLAR/NCTS) realiza pesquisas na área de desenvolvimento de subsistemas para controle térmico de satélites e tubos de calor desde 1990. Diversos convênios com a AEB e outras instituições foram firmados ao longo destes anos o que possibilitou a montagem de uma infra-estrutura laboratorial completa. Em 2002, o LABSOLAR/NCTS foi um dos integrantes do Projeto Microgravidade que culminou no lançamento de um foguete suborbital VS30 da base de lançamento de Alcântara. Atualmente estamos participando da Operação Cumã II que tem vôo previsto para abril de 2007.

A utilização de mini tubos de calor para o controle térmico de componentes eletrônicos em ambientes de gravidade tem crescido nos últimos anos, porém sua eficácia como dispositivo de transferência de calor em ambiente de microgravidade precisa ser comprovada, de forma a ampliar a sua utilização para o controle de temperatura de componentes eletrônicos em satélites.

2 Objetivos do experimento

O objetivo do presente projeto foi testar em ambiente de microgravidade o comportamento térmico permanente de um mini tubo de calor, projetado e construído para este fim. Mais especificamente, procurou-se avaliar o comportamento de um novo tipo de estrutura capilar em condições de microgravidade, desenvolvida pelo Núcleo de Controle de Satélites na Universidade Federal de Santa Catarina. Muito embora os resultados de laboratório sejam favoráveis, testar o dispositivo em ambiente de microgravidade é essencial uma vez que os fenômenos físicos que ocorrem dentro dos tubos, tais como ebulição, escoamento bifásico e condensação podem ser afetados pela gravidade.

2.1 Mini tubo de calor

O princípio de construção e funcionamento de mini tubos de calor se assemelha ao dos tubos de calor convencionais, onde um tubo é evacuado e uma pequena quantidade de fluido de trabalho é inserida no seu interior, sendo este logo depois selado. Certa quantidade de calor, aplicada em uma região do tubo, o evaporador, faz com que o fluido que esteja ali vaporize, e o vapor, por diferença de pressão, seja levado às regiões mais frias do tubo, o condensador, onde se condensa. O líquido formado é então levado de volta ao final do evaporador pela ação de capilaridade, seja através de telas ou de ranhuras, fechando assim um ciclo.

O processo de soldagem dos componentes dos mini tubos de calor serão feitos através de tecnologia de soldagem por difusão. Quando uma chapa de cobre toca um fio maciço de cobre, um canal agudo é formado. Se estas superfícies puderem ser soldadas sem que haja o bloqueio da ranhura formada, este canal pode funcionar como um excelente meio capilar para aplicações em tubos de calor. A soldagem por difusão proporciona tal condição.

A soldagem por difusão no estado sólido é um processo de união no qual o coalescimento de uma junta entre as superfícies em contato é causado pela difusão atômica ativada pela temperatura e auxiliada pela pressão externa aplicada, que, além de favorecer o íntimo contato das superfícies, é responsável pelas microdeformações localizadas (fluência).

Os mini tubos que foram utilizados nos testes de microgravidade possuem dimensões de 100 x 30 x 2 mm e 10 fios de cobre paralelos soldados entre duas finas chapas de cobre de 0,2 mm de espessura, como pode ser visto na Figura 1. A distância entre dois fios é de aproximadamente duas vezes o diâmetro do fio.



Figura 1: Mini tubo de calor

Tubos de calor têm sido rotineiramente utilizados para o controle térmico de veículos espaciais, visando principalmente viabilizar o funcionamento dos equipamentos eletrônicos, mantendo-os dentro de suas faixas pré-estabelecidas de temperatura. Alguns poucos trabalhos foram publicados a respeito do comportamento em microgravidade de mini tubos de calor. A gravidade influencia fortemente muitos fenômenos da mecânica dos fluidos pela criação de forças no sistema de fluidos que governam o movimento, formas de contorno e a compressão de fluidos. Sendo assim, a presença de forças gravitacionais pode mascarar efeitos que estão presentes, mas são comparativamente menores. Quando a influência da gravidade sobre o comportamento do fluido é diminuída ou até mesmo removida, outras forças podem assumir o controle da mecânica dos fluidos.

2.2 Descrição do experimento

O experimento apesar de ser constituído por um único módulo pode ser dividido em duas partes: o módulo de mini tubos de calor e o sistema de aquisição de dados, como pode ser visto na Figura 2.

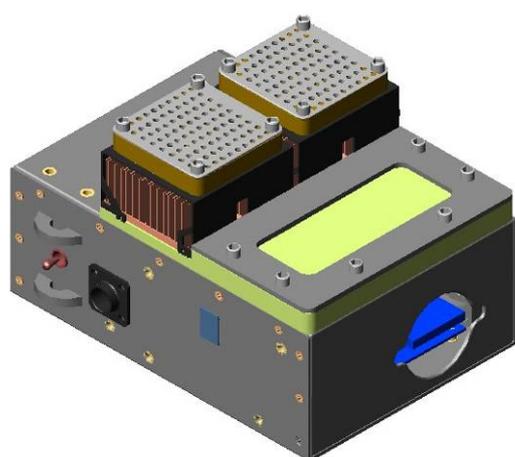


Figura 2: Módulo de vôo do experimento MHP

Um suporte de alumínio foi desenvolvido para a fixação dos mini tubos sobre o sistema de aquisição de dados. Os mini tubos foram colocados de forma longitudinal à caixa do sistema de aquisição e presos entre placas de cortiça granulada por meio de parafusos, impedindo assim, o contato do mini tubo com o ambiente e pressionando a resistência elétrica contra o mini tubo. Uma fina camada de pasta térmica Dow Corning 304[®] foi inserida entre a resistência e o mini tubo. Uma fita adesiva de cobre foi requisitada para envolver todo o isolamento térmico impedindo assim, possíveis desprendimentos de pedaços de cortiça.

Como dito anteriormente, os mini tubos de calor podem ser empregados basicamente para controle de temperatura de componentes eletrônicos. Para simular o seu funcionamento, uma resistência elétrica foi colocada em contato com o mini tubo de calor, simulando de forma controlada o fluxo de calor de um componente eletrônico. Desta forma, o calor foi inserido gradualmente por meio

de resistências elétricas e removido, por sua vez, através de dissipadores aletados, com pode ser visto na Figura 3. Os dissipadores foram colocados sobre cada mini tubo e fixados ao sistema de aquisição de dados por parafusos. Para garantir melhor contato entre o condensador e o dissipador de calor foi usada uma fina camada de pasta térmica Dow Corning 304[®].

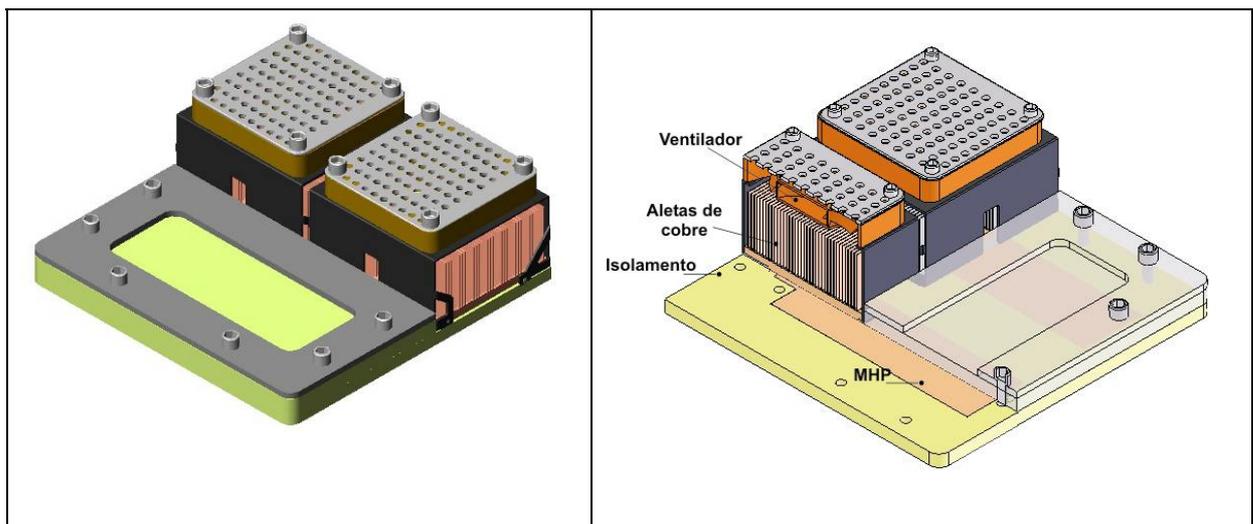


Figura 3: Suporte dos mini tubos de calor

Termopares do tipo T, da marca OMEGA[®], foram usados para monitorar a distribuição de temperatura ao longo de uma das faces do mini tubo, oposta à face em que a resistência elétrica está instalada. Todas as informações referentes à distribuição de temperatura e potência dos mini tubos foram salvas em um cartão de memória, a única parte do experimento que retornou a Terra.

O mini tubo de calor carregado com 0,500 ml recebeu 4 termopares, um para cada seção e outro sobre a resistência elétrica. O mini tubo de 0,300 ml recebeu 3 termopares, um na seção do evaporador e na seção do condensador e outro sobre a resistência elétrica. O canal que seria utilizado para leitura da temperatura da seção adiabática foi usado com canal de leitura de tensão. Os termopares instalados sobre cada resistência foram usados como dispositivo de proteção. Caso houvesse algum problema de superaquecimento e a temperatura excedesse 100°C o software interromperia o aquecimento.

O módulo do sistema de aquisição de dados foi inserido dentro de uma caixa de alumínio de 200 x 140 x 74 como pode ser visto na Figura 4, sendo constituído pelos seguintes componentes: placa PC/104, placa de aquisição de sinais, placa da junta de compensação, conversor DC/DC, placa de controle de potência, placa do conversor digital/analógico, placa de controle *in rush* e cartão de memória.

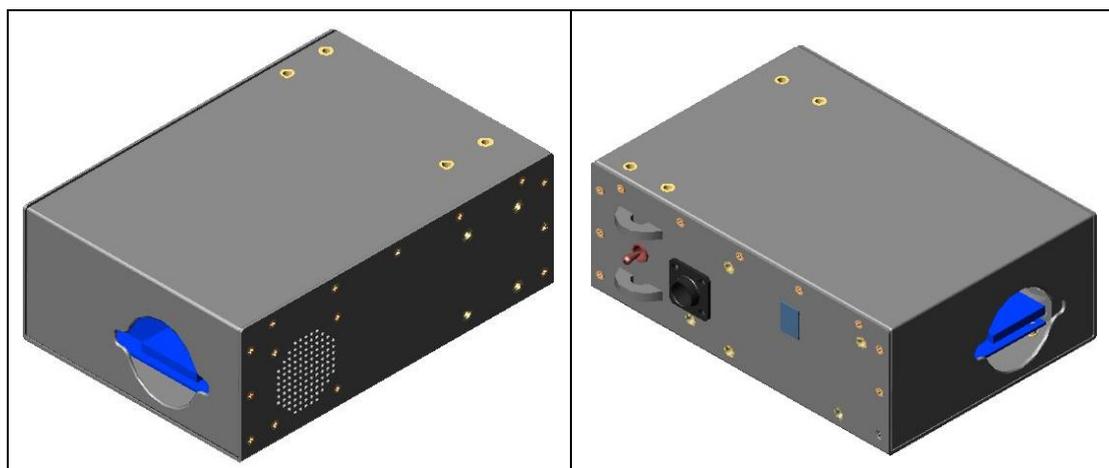


Figure 4: Módulo de aquisição de dados

A placa PC/104 funciona basicamente como um computador (equivalente a um Pentium II) usando o sistema operacional MSDOS em um cartão de memória *flash* (o mesmo utilizado em máquinas fotográficas). Um programa de controle, leitura e aquisição de sinais foi desenvolvido em linguagem C++. A interface entre o astronauta e o experimento foi desenvolvida da forma mais elementar possível, sendo constituída por uma chave e um mostrador de sete segmentos. Grande parte das operações foi controlada basicamente por software.

A Tabela 1 apresenta os demais equipamentos utilizados na missão e suas características dimensionais. Na Figura 5 pode ser visto todo o conjunto de vôo.

Tabela 1: Descrição dos equipamentos

| Qt | Itens | Descrição | Dimensões l x b x h or l x d (mm) | Massa [kg] | Lançado | Retorno |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|---|---------------|---------|------------|
| 1 | MCENT-MHP-FM-01 | Bolsa NOMEX | 205 x 175 x 145 | 0,1192 | 13S | Descartado |
| 1 | MCENT-MHP-FM-02 | Cartão de memória | 52 x 42 x 8 | 0,0150 | 13S | 12S |
| 1 | MCENT-MHP-FM-03 | Módulo MHP | 197 x 152 x 130 | 2,1226 | 13S | Descartado |
| 1 | MCENT-MHP-FM-04 | Cabo elétrico | l=3000 | 0,249 | 13S | Descartado |
| Dimensão e massa total do equipamento | | | 212 x 180 x 150 | 2,5058 | 13S | |

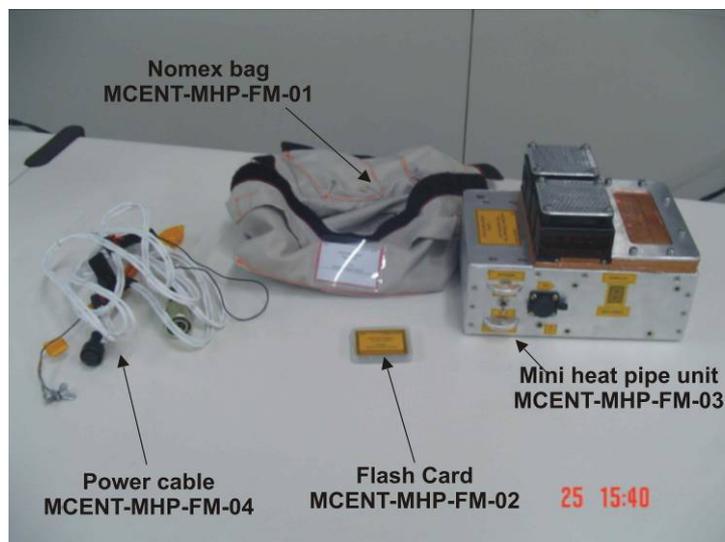


Figura 5: Módulo de aquisição de dados

3 Procedimento experimental

Os testes foram programados de forma a se adequar ao tempo e a energia elétrica disponível entre os experimentos brasileiros. Durante a missão, foram realizados quatro ciclos de testes com duas configurações diferentes, como apresentado nas Tabela 2, 3 e 4. Para garantir a execução do ciclo em caso de falha de operação ou acidente, cada configuração foi repetida uma vez. A diferença entre as duas configurações de ciclo está somente nos incrementos dos patamares de potência. Esta atitude foi tomada para se garantir maior tempo de operação entre um patamar e outro, assegurando assim, o estabelecimento do regime permanente no mini tubo de calor.

A execução do experimento ocorre a partir do momento em que a chave é ligada. A placa PC/104 inicializa através do cartão de memória flash, entrando em módulo de espera de 10 minutos. Ao mesmo tempo, os dois ventiladores dos dissipadores de calor são acionados. Depois de decorrido o tempo de espera, a resistência do primeiro tubo (MHP1) é ligada, aquecendo-o em patamares de 5W

em 5 W até 35W, com intervalo de tempo de 500 segundos. Um intervalo de tempo de 20 minutos foi programado entre o teste do primeiro e o segundo tubo, repetindo-se então os mesmos patamares de aquecimento do primeiro mini tubo.

A diferença da segunda configuração está no fato do incremento da potência, que é aumentado de 10W em 10W. Depois de terminado o aquecimento do segundo mini tubo de calor uma indicação no mostrador de sete segmentos permite o desligamento do experimento. O mesmo procedimento foi repedido para os ciclos restantes.

Tabela 2: Descrição dos ciclos

| | Tempo Total (s)/(h) |
|----------|---------------------|
| 1º Ciclo | 10200 / 2,84 |
| 2º Ciclo | 9000 / 2,5 |
| 3º Ciclo | 10200 / 2,84 |
| 4º Ciclo | 9000 / 2,5 |

Tabela 3: Descrição do 1º e do 3º ciclo

| Tempo de espera (s) | Tempo de aquisição de dados MHP1(s) | Intervalo (s) | Tempo de aquisição de dados MHP2(s) | Total (s) |
|---------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------|
| 600 | 4200 | 1200 | 4200 | 10200 |

Tabela 4: Descrição do 2º e do 4º ciclo

| Tempo de espera (s) | Tempo de aquisição de dados MHP1(s) | Intervalo (s) | Tempo de aquisição de dados MHP2(s) | Total (s) |
|---------------------|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-----------|
| 600 | 3600 | 1200 | 3600 | 9000 |

4 Resultados

A primeira avaliação dos resultados indicaram que o módulo experimental MHP funcionou perfeitamente nos 4 dias de testes.

As comparações com os resultados dos testes realizados em laboratório mostraram que os mini tubos de calor funcionam em microgravidade. A única diferença aparente entre as duas situações de testes está no fato de a

temperatura ambiente não ser a mesma. Na realidade, como o resfriamento é realizado por convecção forçada, a temperatura ambiente funciona como um patamar mínimo. Os testes em laboratório do módulo MHP foram realizados em câmeras com temperatura e umidade controladas, porém em faixas de temperatura fixas (25°C, 40°C). A Figura 6 apresenta a comparação dos testes realizados em gravidade e em microgravidade nos mini tubo carregados com 0,500 ml de água destilada.

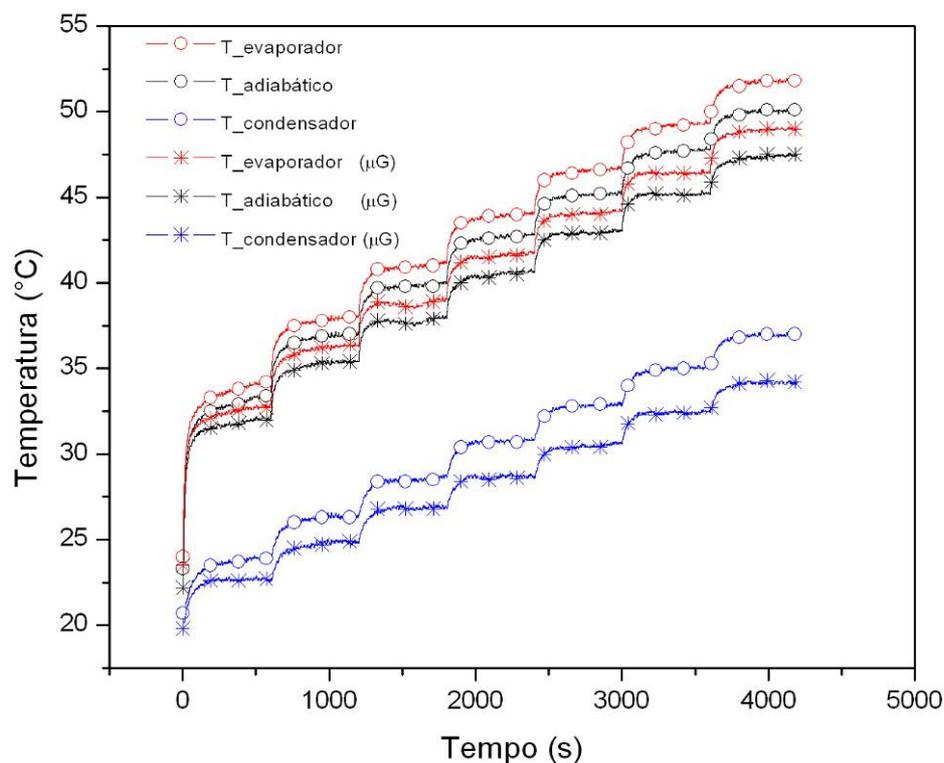


Figura 6: Comparação entre os testes em laboratório e em microgravidade para o mini tubo carregado com 0,500 ml de água destilada.

A performance térmica de um mini tubo de calor pode ser associada a sua capacidade em transportar calor do evaporador ao condensador, ou seja, de um extremo ao outro. A resistência térmica total representa muito bem este parâmetro. Ela é definida como a razão entre a diferença de temperatura entre o evaporador e o condensador pela potência inserida através das resistências elétricas. Na Figura 7 as resistências térmicas dos mini tubos de 0,500 ml testado em microgravidade e em gravidade são comparadas. Com pode ser observado,

praticamente não há diferença entre os resultados. Isto vem a comprovar que a diferença de temperatura percebida na Figura 6 é devido à diferença entre a temperatura ambiente dos locais de testes.

Ainda observando o mesmo gráfico pode-se constatar que a diferença entre a resistência de um mini tubo carregado com água em qualquer um dos ambientes é de aproximadamente 9,8 vezes menor que um mini tubo vazio. Comprovando assim, sua eficiência no transporte de calor.

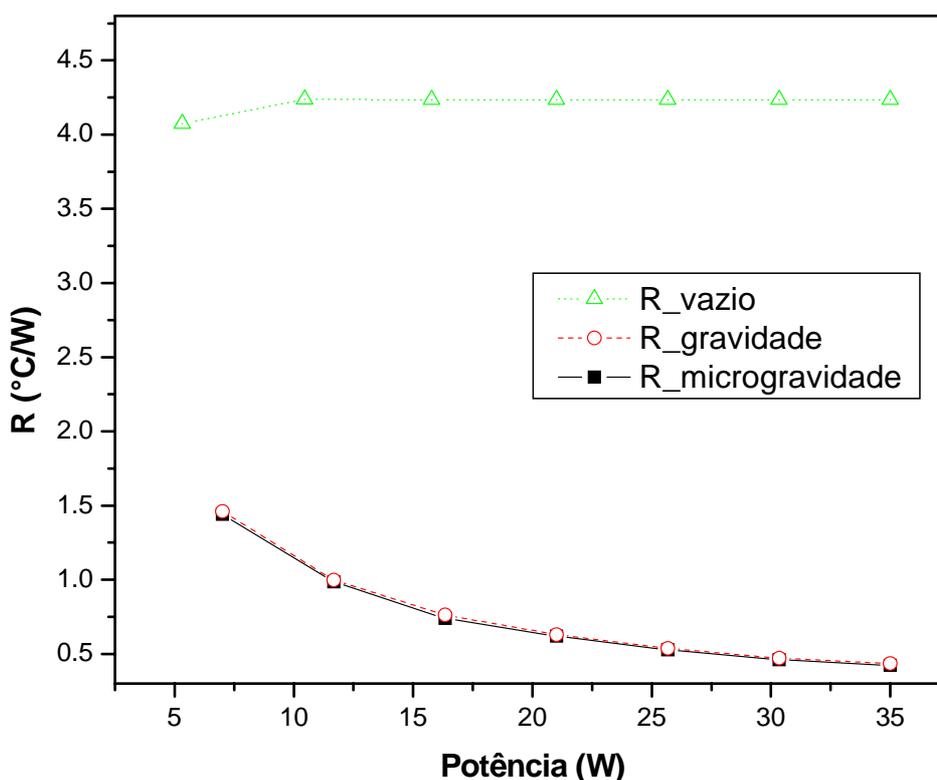


Figura 7: Resistências térmicas totais do mini tubo carregado com 0,500 ml de água destilada

O gráfico das Figuras 8 e 9 são referentes ao mini tubo carregado com 0,300 ml de água. As mesmas considerações feitas para o mini tubo de calor carregado com 0,500 ml podem ser aplicadas a este dispositivo.

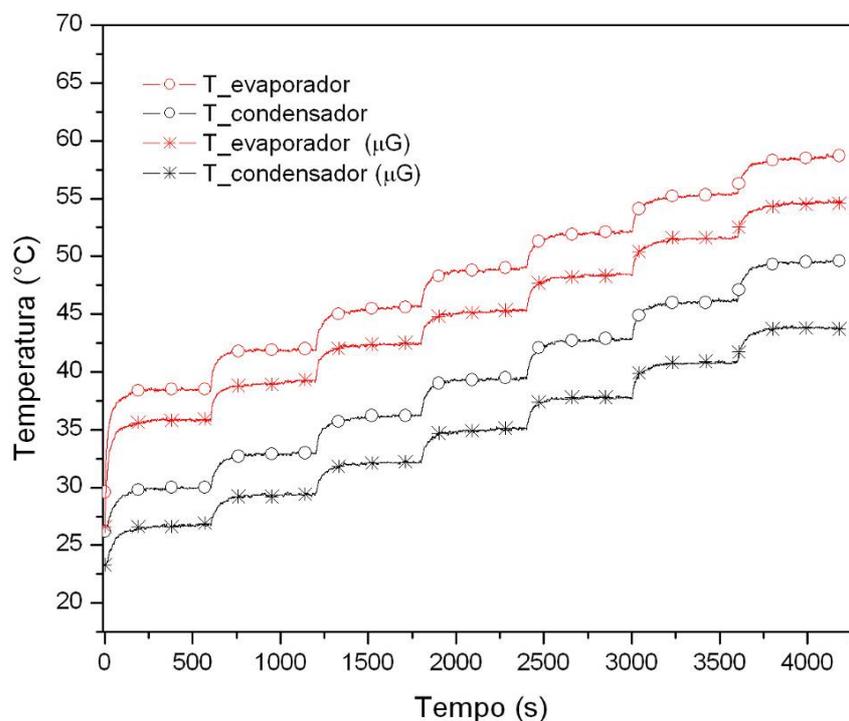


Figura 8: Comparação entre os testes em laboratório e em microgravidade para o mini tubo carregado com 0,300 ml de água destilada.

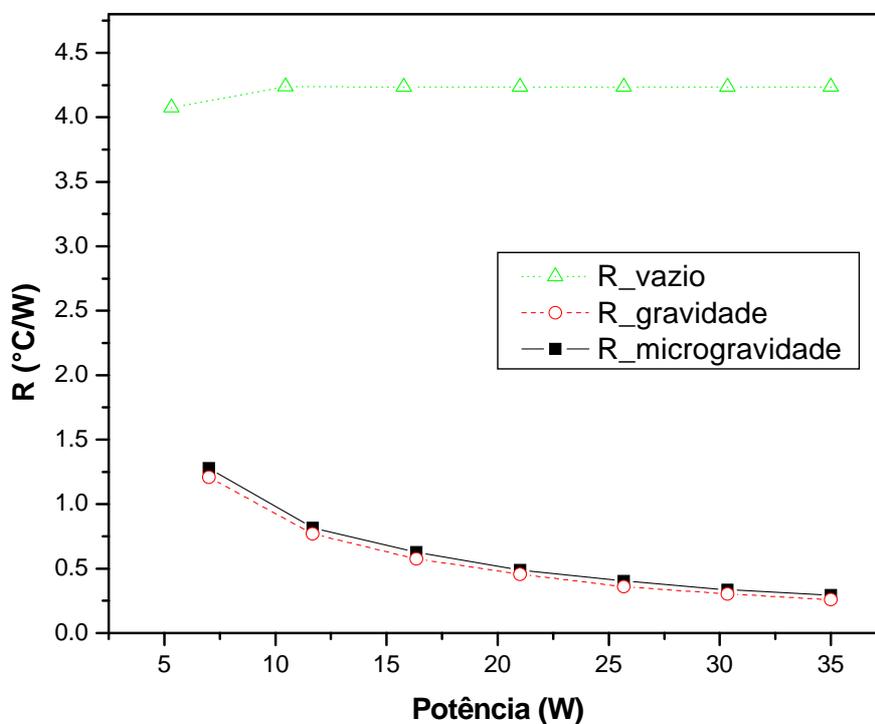


Figura 9: Resistências térmicas totais do mini tubo carregado com 0,500 ml de água destilada

5 Conclusão

Conforme os testes realizados no laboratório do LABSOLAR/NCTS, no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE e com os dados que retornaram da Estação Espacial Internacional pode-se concluir que o dispositivo é um eficiente meio de transporte de calor.

6 Agradecimentos

O empenho dos engenheiros e técnicos do INPE durante o período de testes de qualificação dos experimentos foi de fundamental importância para a realização desta missão. A oportunidade disponibilizada pela AEB, CTA e INPE aos grupos de pesquisa das Universidades e Institutos foi ímpar. Não somente os pesquisadores, mas principalmente os estudantes envolvidos tiveram a oportunidade de conviver com todas as etapas de um lançamento espacial, de acompanhar a performance de seus experimentos num ambiente em muito diferente dos laboratórios a que estão acostumados, de resolver problemas inesperados com pouco tempo hábil. O convívio e interação com a equipe russa foram de extrema valia para os pesquisadores que pretendem continuar desenvolvendo projetos espaciais. Tudo isto foi em muito superior, em termos de aprendizagem técnica, a muitas das disciplinas pelas quais os estudantes têm que passar. A paciência com que os engenheiros e técnicos do INPE e AEB atenderam a todos os integrantes desta missão foi notável. Todos estes fatores, difíceis de serem mensurados, fizeram com que a Missão Centenário fosse um grande sucesso.