

## PROJETO DE UM DISPOSITIVO DE LIBERAÇÃO/RETENÇÃO COM ATUADOR EM LIGA COM EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA PARA OS PAINÉIS SOLARES DO SATÉLITE CIENTÍFICO SACI I

**André L. L. Verri Nunes**

**Sérgio F. M. de Almeida**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Divisão de Engenharia Mecânica e Aeronáutica - IEM

**Antonio C. Palerosi**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Divisão de Mecânica Espacial e Controle - DMC

**Resumo.** *Este trabalho tem por objetivo projetar, fabricar e testar o protótipo de um dispositivo de retenção/liberação de painéis solares. Pretende-se que este dispositivo seja utilizado em futuras missões que utilizem a plataforma do satélite científico SACI I, atualmente em fase final de desenvolvimento no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este dispositivo é baseado em atuador em liga com efeito de memória de forma (EMF), que é capaz de recuperar uma forma previamente memorizada quando aquecida. É apresentada uma modelagem que possibilita obter uma previsão do comportamento mecânico deste sistema para que, posteriormente, um processo de qualificação do dispositivo, envolvendo testes no ambiente espacial, possa ser realizado. Na fase inicial do trabalho, foi desenvolvido um modelo para análise estrutural do pino entalhado e um modelo térmico para análise do aquecimento do atuador. Além disso, foram realizados ensaios para caracterização mecânica do pino. Os modelos foram utilizados para um dimensionamento preliminar do dispositivo. Numa segunda fase, o protótipo foi fabricado e ensaiado no ambiente de laboratório. Este trabalho comprovou a viabilidade da utilização de liga com efeito de memória de forma para a construção de dispositivos de liberação/retenção para apêndices de satélite. Tais dispositivos poderão vir a substituir, em diversas aplicações, os tradicionais dispositivos pirotécnicos.*

**Palavras-chave:** *Protótipo, atuador, efeito de memória de forma, elementos finitos.*

### 1. INTRODUÇÃO

Os painéis solares são responsáveis pela captação de energia solar para manter o funcionamento do satélite em órbita. Durante o lançamento, os painéis solares permanecem próximos, ou na posição fechada, ao corpo principal do satélite para que este possa ser acomodado na coifa do veículo lançador. Após a colocação em órbita, um conjunto de

mecanismos, chamados mecanismos de abertura, proporcionam o movimento do painel solar para a posição aberta e o mantém neste posição. Tais mecanismos, ou dispositivos, podem ser classificados funcionalmente da seguinte maneira: dispositivos de retenção, dispositivos de liberação, mecanismos de articulação (incorporam o elemento atuador do movimento de abertura) e mecanismos de sincronismo (Palerosi, 1997).

Usualmente os dispositivos de liberação funcionam através da aplicação de cargas explosivas (pirotécnicos) que provocam a ruptura de um pino, destravando o sistema e permitindo o movimento de abertura. Os pirotécnicos possuem larga aplicação e histórico na área espacial, apresentado porém alto custo associado a confiabilidade e a existência de choques na estrutura no momento da explosão, o que muitas vezes pode inviabilizar a sua utilização. Existe um grande interesse da indústria aeroespacial pelo desenvolvimento de mecanismos não explosivos compactos e confiáveis capazes de substituir o pirotécnico (Powley & Brook, 1978). Uma das alternativas que se mostra viável é a utilização de dispositivos baseados em ligas com efeito de memória de forma (EMF). As principais vantagens seriam: (1) grande força de retenção possibilitando a utilização de alta margem de força; (2) mínimo choque de liberação; (3) segurança no manuseio e na fabricação; (4) confiabilidade associada a possibilidade de realização de testes não destrutivos. Como desvantagem pode-se citar o tempo de resposta, o que limita a aplicação onde há a necessidade de liberação de mais de um ponto de retenção simultaneamente.

Em termos gerais, o dispositivo é constituído por um pino entalhado que mantém o painel na posição fechada, um atuador em liga com EMF, um elemento aquecedor e uma estrutura de suporte. Quando aquecido, o atuador sofre expansão (que é o estado memorizado) provocando o rompimento do pino na região do entalhe e liberando o movimento de abertura do painel solar.

## 2. O EFEITO DE MEMÓRIA DE FORMA

O princípio de funcionamento deste dispositivo está baseado na propriedade de certos materiais que apresentam efeito de memória de forma (EMF). O efeito de memória de forma pode ser definido como a capacidade de um material em voltar ao estado ou à forma original com o aquecimento a temperaturas acima da temperatura  $A_f$ , temperatura final da reversão da martensita em austenita no aquecimento, após terem sido deformados plasticamente no seu estado martensítico.

O termo transformação martensítica tem sido utilizado atualmente de maneira mais abrangente para designar um tipo de transformação de fase no estado sólido que pode ocorrer não só em aços resfriados rapidamente, mas também em ligas não ferrosas, metais puros, cerâmicos compostos inorgânicos minerais e polímeros (Otubo, 1996). Aqui a expressão transformação martensítica é utilizada para caracterizar uma transformação de fase sem difusão.

Antes de discutir sobre como o EMF é obtido, é necessário definir os parâmetros de temperatura que caracterizam a transformação:

- $M_i$  - temperatura de início da transformação da austenita em martensita no resfriamento;
- $M_f$  - temperatura final da transformação da austenita em martensita no resfriamento;
- $A_i$  - temperatura de início da reversão da martensita em austenita no aquecimento;
- $A_f$  - temperatura final da reversão da martensita em austenita no aquecimento.

Macroscopicamente um material que apresenta o efeito de memória de forma deve passar por etapas de processamento para memorização da forma. Inicialmente o material na forma de fio, barra tubo, chapa, etc. é moldado no formato o qual se deseja memorizar. O passo seguinte é a memorização da forma com o tratamento térmico (aquecimento) a temperatura na qual o material, em equilíbrio termodinâmico, se encontra na fase austenítica. A forma

memorizada não é alterada por resfriamento posterior. A modificação da forma é feita por uma tensão mecânica no estado martensítico. A reversão dessa martensita induzida mecanicamente para a fase austenítica no aquecimento é que provoca a recuperação de forma.

Durante a recuperação de forma a liga pode realizar trabalho mecânico. A repetibilidade dos ciclos de deformação e recuperação sob aquecimento junto com a capacidade de realização de trabalho mecânico constituem a base para aplicações deste tipo de liga. Existem vários estudos de dispositivos que utilizam ligas com EMF e sua modelagem. Várias referências são dadas por Pacheco e Savi (1997). Este trabalho descreve o projeto e fabricação de um dispositivo para abertura de apêndices de satélite.

### 3. DESCRIÇÃO DO DISPOSITIVO

#### 3.1 Visão geral do projeto

O dispositivo de retenção/liberação proposto neste trabalho deverá, em um outro trabalho posterior, ser qualificado para vôo com o objetivo de ser utilizado em futuras missões baseadas na plataforma do satélite científico SACI I que está em desenvolvimento no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este satélite possui quatro painéis solares de corpo único, rígidos e diagonalmente opostos, um em cada lado do satélite, que serão abertos após a ejeção do veículo lançador. Nas missões previstas para este satélite não há a necessidade de movimento simultâneo na abertura dos quatro painéis solares, não sendo considerado relevante os diferentes tempos entre o acionamento do atuador e a ruptura do pino entalhado para os quatro dispositivos empregados. Estas características viabilizam o uso de ligas com EMF para a construção dos atuadores. A Fig. 1 ilustra o dispositivo montado no corpo do satélite com o painel em sua posição fechada.

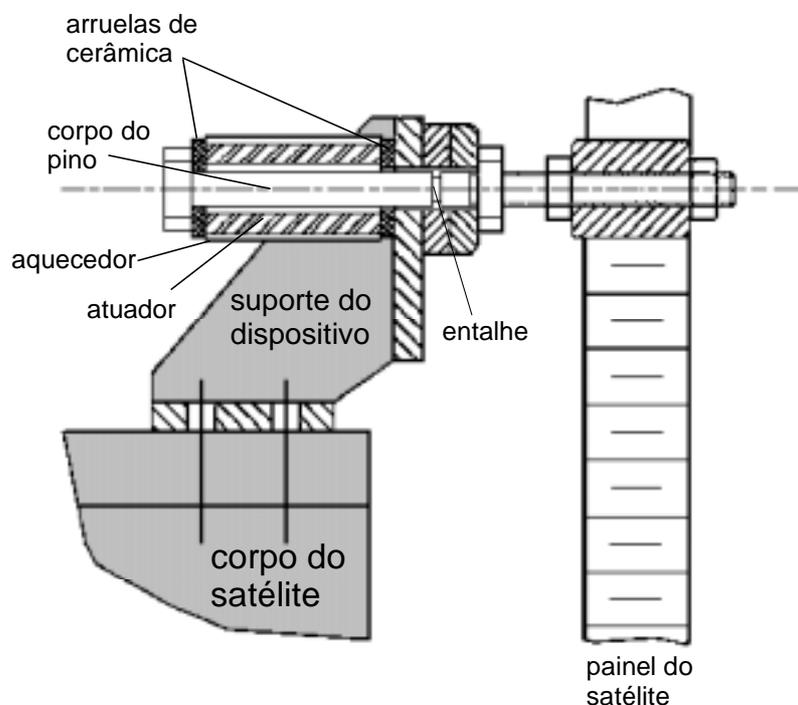


Figura 1 - Desenho do dispositivo montado no satélite.

O atuador em liga com EMF é um tubo cilíndrico por onde passa internamente um pino entalhado (pino de retenção). Um aquecedor tipo *skin heater* é colado na superfície externa cilíndrica do atuador, sendo o responsável pelo fornecimento de calor ao mesmo. Este conjunto está preso por uma estrutura suporte ao corpo principal do satélite. O painel do satélite é mantido fechado e preso por um prolongamento do corpo do pino. O pino possui uma cabeça cilíndrica e uma rosca, servindo como um parafuso prisioneiro, que mantém o atuador sob um determinado aperto. O atuador é previamente deformado plasticamente em seu estado martensítico e, quando o aquecido, se expande, recuperando a forma anterior. Com a expansão do atuador, o pino é tracionado e se rompe na região do entalhe liberando o painel solar. Arruelas de cerâmica (Goodfellow catalogue, 1996) são utilizadas nas extremidades do atuador para minimizar as perdas de calor para a cabeça do pino e para a estrutura de suporte.

### 3.2 Requisitos de desempenho

Este trabalho se ateu a ensaios realizados no ambiente de laboratório. Para a qualificação do dispositivo de vôo será necessário considerar o ambiente espacial, particularmente extremos de temperatura ( $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e vácuo da ordem de  $10^{-7}$  torr.

O pino foi projetado para sofrer ruptura com uma carga axial de  $10000\text{ N}$ ; este requisito de projeto foi estabelecido para garantir que o pino não se rompa acidentalmente (choques, vibração do lançamento). Este valor de carga pode ser facilmente obtido pelo atuador. A ruptura deve ocorrer no entalhe concentrador de tensões. O material do pino deve sofrer fratura frágil e não deve sofrer muita alongação quando solicitado pelo atuador. Na montagem final do dispositivo, as folgas devem ser eliminadas para garantir o máximo de aproveitamento da alongação do atuador. Para isso utilizou-se um torquímetro, conferindo ao parafuso uma pré-carga de  $2500\text{ N}$ . O valor médio da carga de ruptura deve ser averiguado em ensaios de tração com corpos de prova semelhantes ao pino de modo que o desvio padrão seja o menor possível.

O atuador foi obtido a partir de uma barra de NiTi e deve fornecer uma carga superior a  $10000\text{ N}$  para garantir o rompimento do pino. A temperatura onde ocorre a recuperação da forma memorizada ( $A_f$ ) da liga deve ser da ordem de  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

O aquecedor deve fornecer ao atuador potência suficiente para garantir que o mesmo atinja a temperatura de recuperação de forma. A colagem do aquecedor no corpo cilíndrico do atuador deve permitir eficiência na transmissão de calor entre as superfícies.

## 4. MODELAGEM E CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DO PINO

Modelos estruturais para o pino foram elaborados pelo método dos elementos finitos usando o pacote computacional NASTRAN, assumindo-se comportamento linear elástico para o material do pino. A modelagem foi feita utilizando elemento axissimétrico triangular com interpolação quadrática (seis nós por elemento). Nos nós da parte inferior do cabeça do pino foi aplicada um força distribuída (axial e de tração) totalizando  $10000\text{ N}$ , e nos nós da rosca foram aplicados vínculos que restringiam o movimento de translação. As dimensões do entalhe escolhido foram: largura =  $1,0\text{ mm}$   $\times$  profundidade =  $0,7\text{ mm}$ . A malha foi refinada de modo controlado a partir do contorno do entalhe. Sendo  $1000\text{ MPa}$  a tensão de ruptura nominal do aço com o qual o pino foi confeccionada (Villares VV56), esperava-se que a força de ruptura fosse de  $10000\text{ N}$ . Foi feito ainda uma caracterização dimensional utilizando-se um projetor de perfil, onde verificou-se que as diferenças entre as dimensões finais de usinagem e de projeto do entalhe e do corpo do pino poderiam ser consideradas desprezíveis.

Foram feitos ensaios de tração com cinco corpos de prova idênticos ao pino. Os corpos de prova, em média, sofreram ruptura sob uma força de  $11080\text{ N}$ , sendo que a carga máxima

registrada foi de 11350 N e a mínima foi de 10086 N. O desvio padrão foi de 180 N o que representa 1,7 % do valor médio. Para melhor comparação com os dados experimentais, a Tabela 1 apresenta os resultados da análise computacional (NASTRAN).

Tabela 1. Resultados do modelo computacional de elementos finitos para o pino

No de nós da malha	Máxima tensão de cisalhamento (MPa)	Máxima tensão de Von Mises (MPa)	Deslocamento da cabeça (mm)
158	441	786	0,1108
216	563	1056	0,1114
475	590	1099	0,1128
1657	651	1220	0,1142
2473	760	1394	0,1141
5103	815	1425	0,1149
6049	768	1512	0,1152
8493	904	1652	0,1152
9523	911	1666	0,1157

## 5. COMPONENTE ATUADOR (LIGA COM EMF)

### 5.1 Escolha da liga

Existem vários materiais que apresentam o efeito de memória de forma: ligas ferrosas inoxidáveis, Níquel-Cromo, Níquel-Cromo-Cobalto, etc. (Wasilewski, 1975). Porém a maioria delas possui faixas de temperatura de transformação muito elevadas (em torno de 250-350 °C) o que inviabilizaria o sistema de aquecimento. Foi escolhida então a liga de Níquel - Titânio que apresenta significativa recuperação de forma e temperaturas de transformação adequadas ao sistema de aquecimento proposto.

### 5.2 Características da liga utilizada

Uma barra de liga NiTi com efeito de memória de forma com 28 mm de diâmetro e 600mm de comprimento foi adquirida pelo INPE para a fabricação dos atuadores. Esta barra veio com o tratamento de memorização concluído, necessitando apenas de tratamento de alívio de tensões após a usinagem. Seguem as principais características desta liga fornecidas pelo fabricante (Special Metals Co - New York):

#### **Propriedades físicas**

Condutividade térmica: Austenita 0,18 W/cm °C  
 Martensita 0,086W/cm °C  
 Calor específico: 322 J/kg· °C

#### **Propriedades mecânicas**

Módulo de elasticidade: Austenita 120 GPa

Tensão de escoamento a tração:	Martensita 50 GPa Austenita 379 MPa Martensita 138 MPa
Tensão de ruptura a tração:	690 MPa - 1380 MPa;

### ***Efeito de memória de forma***

Temperatura de transformação: de 60 °C a 100 °C  
 Calor latente de transformação: 24200 J/kg  
 Recuperação estimada: 6,5% a 8,5%

### **5.3 - Hipóteses e parâmetros do modelo térmico**

A liga NiTi inicialmente encontra-se no estado martensítico (temperatura ambiente). O aquecedor deve garantir que todo o atuador atinja a uma temperatura superior à temperatura  $A_f$  para que a transformação seja totalmente concluída, obtendo-se assim a máxima recuperação possível da liga. Durante o aquecimento da temperatura ambiente até a temperatura  $A_s$ , a martensita comporta-se como um metal em aquecimento com todas suas propriedades térmicas constantes. Da temperatura  $A_i$  até a temperatura  $A_f$  a martensita se transforma em austenita, suas propriedades térmicas se alteram de forma drástica, e parte da energia é utilizada nesta transformação. A quantidade de energia necessária para completar transformação é dada por:

$$Q = m\lambda \quad (1)$$

onde  $m$  é a massa do atuador e  $\lambda$  é o calor latente de transformação.

### **5.4 - Equação diferencial e condições de contorno**

Nesta etapa de dimensionamento dos componentes foi adotado um modelo térmico simplificado unidimensional. Assumiu-se que a transferência de calor no sistema ocorre apenas por condução, desprezando-se perdas de calor por convecção e radiação. A condução de calor ocorre apenas ao longo da coordenada axial  $x$  do atuador, sendo constante a temperatura ao longo do raio. A temperatura depende da coordenada axial  $x$  e do tempo de aquecimento  $t$ .

Fazendo o balanço energético no elemento infinitesimal do atuador (Fig. 2) tem-se a equação diferencial para este modelo unidimensional de condução de calor:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{Q_H}{2L \cdot A_c \cdot K} = \frac{\rho \cdot c}{K} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

onde  $A_c$  é a área transversal do atuador;  $2L$  é o comprimento do atuador;  $T(x,t)$  é a temperatura do atuador;  $t$  é tempo de aquecimento;  $Q_H$  é a potência útil do aquecedor;  $\rho$  é a massa específica do NiTi; e  $c$  é o calor específico do NiTi.

**Condição inicial.** A condição inicial compatível com o ensaio sob condições ambiente é que todo o atuador encontra-se na mesma temperatura inicial, isto é:

$$T(x, 0) = T_{amb} \quad (3)$$

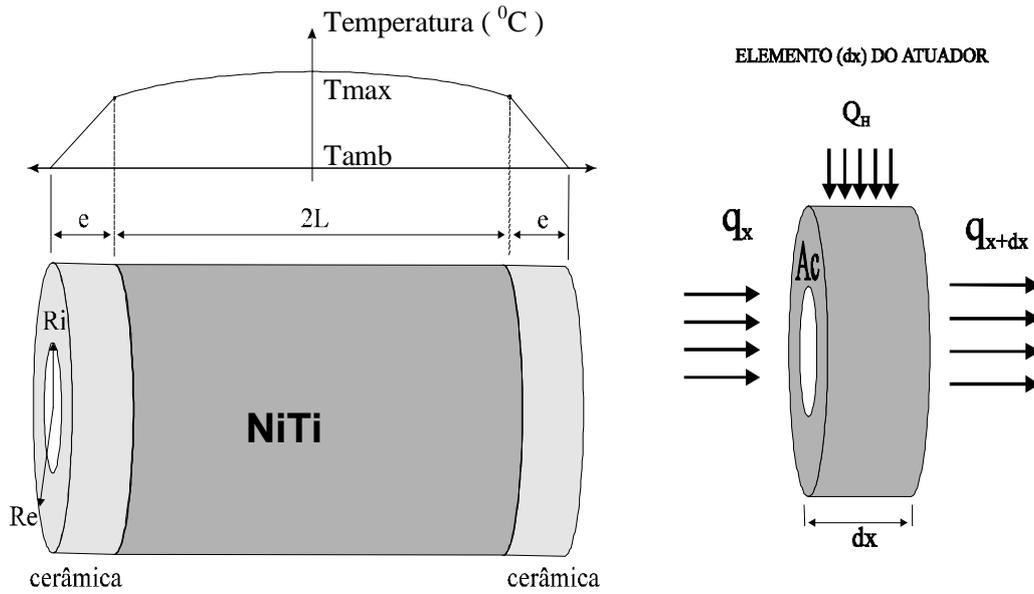


Figura 2 - Esquema do atuador com arruelas de cerâmica e elemento térmico da liga NiTi.

**Condições de contorno.** Devido a simetria em relação ao ponto médio do atuador tem-se:

$$\frac{\partial T}{\partial x}(0, t) = 0 \quad (4)$$

A condição de contorno nas extremidades do atuador foi obtida modelando a perda de calor para a cerâmica. Foi assumido que a queda de temperatura na cerâmica é linear:

$$-K \cdot A_c \cdot \frac{\partial T}{\partial x}(L, t) = K_c \cdot A_c \cdot \frac{T(L, t) - T_{amb}}{e} \quad (5)$$

onde  $e$  é a espessura da cerâmica;  $K_c$  é a condutividade térmica da cerâmica e  $K$  é a condutividade térmica do NiTi.

**Solução da equação diferencial (cálculo da potência).** A equação.(2) pode ser resolvida analiticamente utilizando método de separação de variáveis (Kreith, 1965). A solução da Eq. (2), que fornece a distribuição de temperatura ao longo do atuador em função do tempo é:

$$T(x, t) = T_{amb} + \sum_{k=1}^9 \frac{q}{8,6\omega_k^2} F_k \cdot (1 - e^{-4,136 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_k^2 \cdot t}) \cos(\omega_k x) \quad (6)$$

onde  $F_k$  são coeficientes da série de Fourier decorrente da solução por separação de variáveis;  $q$  é a potência útil por unidade de volume do atuador e  $\omega_k$  são autovalores associados à decomposição em série de Fourier. Foram utilizados nove termos na expansão.

A Eq. (6) mostra que a temperatura ao longo do tempo tende a se estabilizar. Uma vez estabilizada, a distribuição de temperatura ao longo do eixo  $x$  não é constante, sendo máxima em  $x = 0$  e mínima em  $x = L$ . Logo o valor de  $Q_H$  (potência útil do aquecedor) deve ser escolhido de forma que a temperatura em  $x = L$  seja igual ou superior a  $A_f$ . A temperatura ambiente também deve ser conhecida. Tomou-se então para efeito de cálculo  $T_{amb} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

**Cálculo de  $Q_H$ .** A potência útil deve ser escolhida de modo que toda a liga seja aquecida a uma temperatura superior à temperatura final de transformação. O volume do atuador é de  $4,003 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Assim no estado estacionário, tem-se:

$$q = \frac{Q_H}{Vol} = 29.048 Q_H \Rightarrow T_{\infty}(x) = T_{amb} + \sum_{k=1}^9 \frac{29.048 Q_H}{\omega_k^2} F_k \cos(\omega_k x) \quad (7)$$

A Eq. (7) mostra a distribuição de temperatura no estado estacionário (fim do aquecimento). Tomou-se então  $Q_H = 18 \text{ W}$  que é suficiente para aquecer todo o atuador a uma temperatura superior a  $A_f$ .

Foram contabilizadas também as perdas estimadas de potência por convecção para o ar atmosférico e radiação, totalizando  $4 \text{ W}$ . Logo o sistema elétrico ao qual o aquecedor está ligado deve fornecer uma potência total dada pela soma da potência útil com as perdas de potência ( $Q_H + \text{perdas}$ ), totalizando então  $22 \text{ W}$ .

O elemento aquecedor, tipo skin heater, escolhido foi o *HK5319R14.6L24B#10* (Minco catalogue, 1986). Tal aquecedor encontrava-se disponível no INPE na época do trabalho. As suas principais características são: dimensões:  $(25,4 \times 30) \text{ mm}$ , resistência:  $14,6 \Omega$  e corrente ( $I_{max}$ ):  $4 \text{ A}$ .

## 6. TESTE FINAL COM O PROTÓTIPO

### 6.1 - Montagem do dispositivo (teste sob condições ambiente)

O dispositivo foi instrumentado para a avaliação do modelo térmico desenvolvido e verificação do tempo de ruptura do pino. Foram colocados dois termopares: um deles no centro do atuador e o outro na junção com a cerâmica. Para melhorar o alinhamento axial da montagem, foram feitos pequenos rebaixos nas cerâmicas e no suporte, promovendo o encaixe dos componentes. Após a compressão final, o aquecedor foi fixado no atuador com uma camada de fita *Kapton*, outra de borracha adesiva para apertar o aquecedor ao redor do atuador e, novamente, outra camada de fita *Kapton*. O teste foi feito no laboratório do grupo de térmica do INPE (Fig. 3). Os parâmetros mais importantes do teste foram: Tensão elétrica aplicada ao aquecedor:  $20 \text{ V}$ ; Potência total:  $22 \text{ W}$ ; Pré-carga no pino (aplicada por um torquímetro):  $2500 \text{ N}$ ; Temperatura ambiente:  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

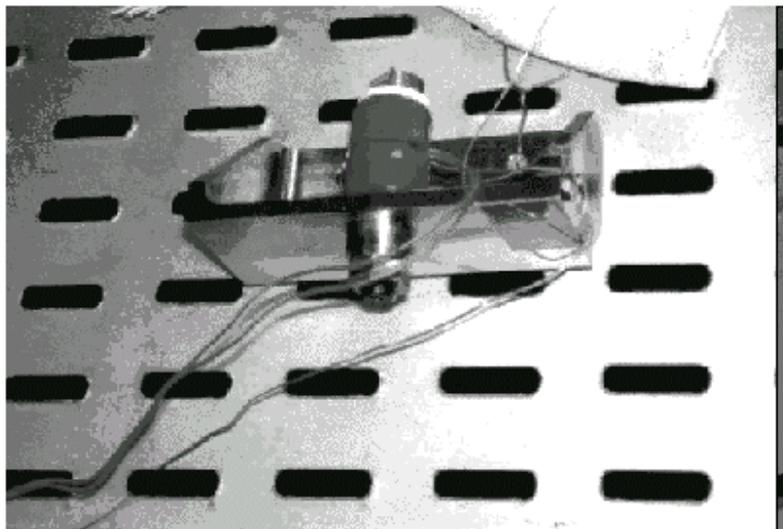


Figura 3 - Dispositivo montado para ensaio.

## 6.2 - Resultado do teste final

O teste foi bem sucedido demonstrando que o dimensionamento dos componentes foi adequado. O pino foi rompido em  $140\text{ s}$ ; a temperatura do atuador chegou a  $100\text{ }^\circ\text{C}$  na junção com a cerâmica e  $120\text{ }^\circ\text{C}$  no centro do atuador, compatível com a previsão do modelo térmico teórico. O local de ruptura do pino foi no entalhe conforme foi previsto no modelo de elementos finitos.

A figura 4 ilustra os resultados teóricos que foram obtidos pela Eq. (6), e experimentais que foram obtidos no laboratório para os valores da temperatura ao longo do tempo no ponto médio do atuador ( $x = 0$ ) e na extremidade ( $x = L$ ). A discrepância entre os resultados numéricos e experimentais deve-se principalmente às hipóteses simplificadoras do modelo: (1) o modelo usado é unidimensional assumindo que a temperatura é independente da posição radial; (2) não foi considerado o calor necessário para a transformação martensítica; (3) as perdas por convecção foram desprezadas. Deve-se notar que no ambiente espacial não há perda por convecção; nesse caso a discrepância deverá ser menor.

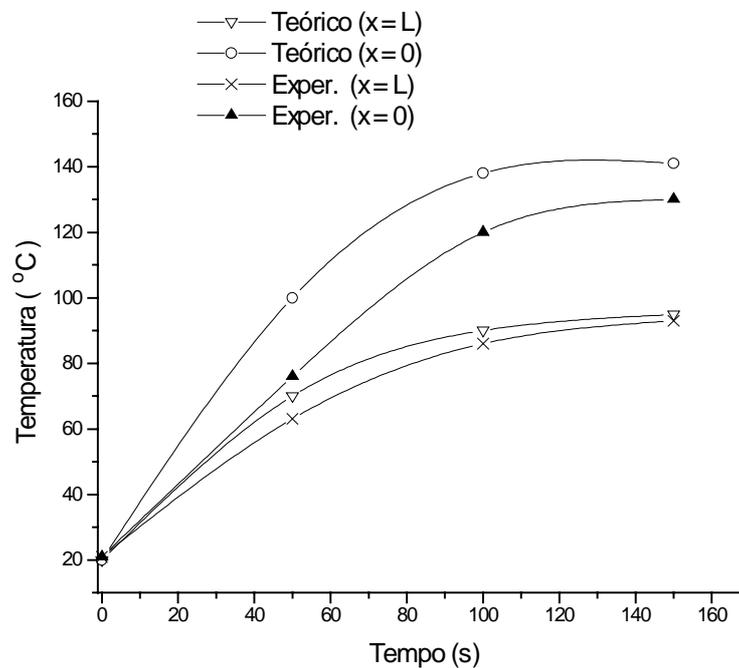


Figura 4 - Aquecimento do atuador ao longo do tempo (teórico e experimental).

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho envolveu o desenvolvimento da modelagem do dispositivo proposto, o dimensionamento do mesmo e fabricação de um protótipo para ensaio de validação da concepção de projeto utilizada. Os modelos teóricos do pino e da liga mostraram-se condizentes com os resultados experimentais, podendo ser utilizados nas etapas seguintes do projeto. Apesar das hipóteses simplificadoras adotadas no modelo teórico, as curvas de aquecimento teórica e experimental foram semelhantes. O modelo de elementos finitos também forneceu boas previsões para a carga de ruptura do pino. O aço VV56 utilizado para a confecção do pino foi adequado para esta aplicação e será mantido. O dimensionamento e a geometria dos componentes estão corretos e aprovados. A robustez deste sistema é alta, pois o

ensaio foi feito no ar atmosférico onde as perdas de energia por convecção são consideráveis. A energia necessária para romper o pino no vácuo será certamente mais baixa.

A principal finalidade deste trabalho foi cumprida: comprovar a viabilidade de funcionamento deste sistema que, futuramente, poderá substituir os sistemas convencionais (pirotécnicos). O trabalho desenvolvido terá continuidade com a qualificação de um dispositivo para voo.

### ***Agradecimentos***

Os autores agradecem a Villares Metal S/A pelo fornecimento do material do para este trabalho e a Agência Espacial Brasileira pelo suporte financeiro. Os autores agradecem ao Dr. Jorge Otubo pelas valiosas contribuições a este trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- Goodfellow Catalogue 1996/97, 1996, Metals, alloys, compounds, polymers, composites. Cambridge, England.
- Kreith, F., 1965, Princípios da transmissão de calor, Edgard Blücher, São Paulo.
- Minco Bulletin HS-200, 1986, Thermofoil Heaters, Minneapolis.
- Otubo, J., 1996, Desenvolvimento de ligas inoxidáveis com efeito de memória de forma: elaboração e caracterização. Tese de doutorado, Unicamp, Campinas.
- Pacheco P. M. C. L., Savi, M. A., A non-explosive realise device for aerospace applications using shape memory alloys. in: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, CD-ROM, 1997.
- Palerosi, A. C., 1997, Dinâmica do movimento de abertura de painéis solares do satélite CBERS. Tese de mestrado, ITA, São José dos Campos.
- Powley, D. G. , Brook, G. B., 1978, The design and testing of a memory metal actuated boom release mechanism. Proceedings of the 12th Aerospace Mechanisms Symposium,. p. 119 - 129.
- Wasilewski, R. J., 1975, the shape memory effect in NiTi: one aspect of stress assisted martensitic transformation, in Shape memory effects in alloys, ed. J. Perkins, Plenum Press, New York.

***Abstract.*** *This work describes the design, manufacturing and testing of a holddown/release device prototype for satellite solar panels. This device is intended to be used in future missions using the framework of the scientific satellite SACI I, currently in final development phase at the Brazilian National Institute for Space Research (INPE). The device is based on an actuator made of shape memory alloy that has the property of recovering a previously memorized shape when heated. A design methodology is developed aiming at the future qualification process of the device, including tests in the on-orbit environment. In the first part of the work, a structural model for the analysis of the notched bolt and a thermal model for the actuator heating process were developed. Tests for the experimental characterization of the bolt strength were performed. The models were used for the preliminary design of the device. In the second part, a prototype was manufactured and tested in laboratory conditions. This work demonstrated the feasibility of the use of shape memory alloys for the design of satellite holddown/release devices, which can replace, in several applications, the conventional pyrotechnic devices.*

***Key words:*** *holddown and release devices, actuator, shape memory alloys, finite elements.*