

# **OBTENÇÃO E FUNCIONABILIDADE DO DIAFRAGMA METÁLICO DO SISTEMA DE CONTROLE DE ROLAMENTO DO VLS-1, PELO PROCESSO DE REPUXAMENTO.**

**Valderci José Giacomelli**

IAE - Instituto de Aeronáutica e Espaço – Divisão de Mecânica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, São José dos Campos - SP - Brasil. - CEP 12228-900.  
e-mail: [valderci@iae.cta.br](mailto:valderci@iae.cta.br)

**Lindolfo de Araújo Moreira Filho**

ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica - IEM, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, São José dos Campos - SP - Brasil. - CEP 12228-900.  
e-mail: [lindolfo@ita.br](mailto:lindolfo@ita.br)

**Miguel Ângelo Menezes**

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Av. Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira - SP - Brasil. - CEP 15385-000.  
e-mail: [miguel@dem.feis.unesp.br](mailto:miguel@dem.feis.unesp.br), [miguelm@ita.br](mailto:miguelm@ita.br)

## **Resumo**

A Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) é um programa integrado, visando o projeto, o desenvolvimento, a construção e a operação de satélites de fabricação nacional, a serem colocados em órbitas baixas por um foguete projetado e construído no país e lançado de uma base situada em território brasileiro. Para tanto, está sendo desenvolvido pelo CTA/IAE, o Veículo Lançador de Satélites, o VLS-1. Entre os sistemas que foram adquiridos de empresas estrangeiras, devido ao longo tempo necessário aos respectivos desenvolvimentos, destaca-se, entre outros, o Sistema de Controle de Rolamento (SCR). O Sistema de Controle de Rolamento do VLS-1 é um sistema propulsivo auxiliar, a propelente líquido, que tem por função permitir o controle da atitude do veículo em torno do seu eixo longitudinal. Assim, um programa de desenvolvimento desse sistema está em andamento no CTA-IAE; e um dos desafios, no aspecto tecnológico, reside no desenvolvimento dos componentes Propulsor e Tanques de Propelente providos de diafragmas metálicos. Esses tanques, um de combustível (tetróxido de nitrogênio) e outro de oxidante (di-metil hidrazina assimétrica) são vasos metálicos em alumínio, com membrana metálica deformável (diafragma metálico), também em alumínio, em seu interior para isolar o gás pressurizante do propelente líquido e permitir a expulsão do mesmo em qualquer condição de vôo. É necessário, que tanto os tanques, quanto às membranas, sejam em alumínio devido à compatibilidade desse material com os propelentes. A proposta deste trabalho consiste na obtenção do diafragma metálico através de uma operação de repuxamento, onde é investigado o desempenho e a conformabilidade das ligas de alumínio, Al5052, Al6351 e Al1050, durante o processo, de modo a cumprir o requisito funcional deste dispositivo de controle. O processo de repuxamento foi utilizado por se tratar de um método simples e barato. Foi verificado que o alumínio Al1050 é o que se mostrou mais satisfatório no processo de repuxamento.

**Palavras-chave:** Repuxamento, Diafragma Metálico, Sistema de Controle (SCR) do VLS-1, Propelente Líquido, Ligas de Alumínio.

## INTRODUÇÃO

O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), órgão pertencente ao Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial, têm como missão realizar pesquisa e desenvolvimento no campo aeroespacial. Para atender a este fim, o IAE desenvolveu uma série de veículos de sondagem e o Veículo Lançador de Satélites, VLS-1, sendo este o projeto mais importante em andamento.

O VLS-1, Fig. (1), é um lançador de satélites lançado a partir de plataforma terrestre. Na decolagem, o comprimento do veículo é de 19 m, a massa é de 50 toneladas e o empuxo de 1000 kN. A propulsão principal é fornecida por propulsores a propelente sólido, em todos os estágios, com massa total de 41 toneladas de combustível <sup>(1)</sup>.

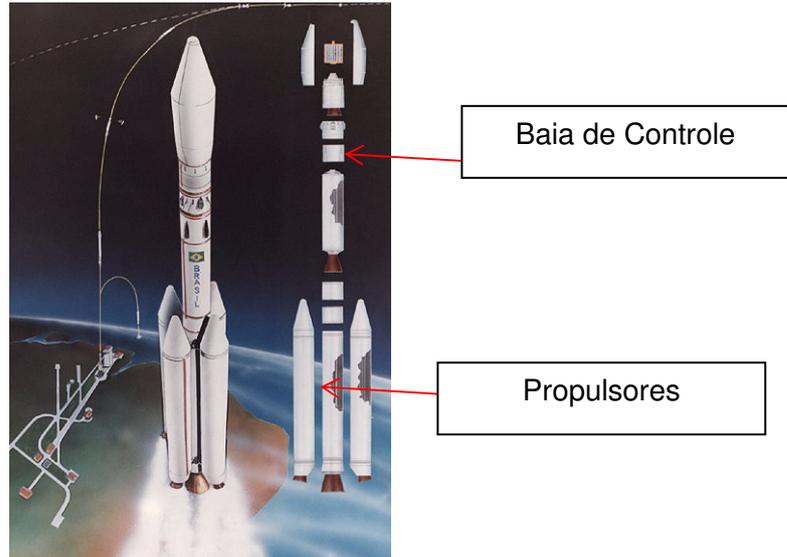


Figura 1. VLS-1-Localização da Baia de Controle

O desempenho do VLS-1 permite a inserção de satélites, com massa de 100 a 350kg, em órbitas circulares de 250 a 1000 km. O desenvolvimento do VLS-1 repousa sobre conquistas tecnológicas alcançadas no programa de foguetes de sondagem, acrescidas de novos desafios.

Alguns equipamentos e sistemas foram comprados de empresas estrangeiras, devido ao longo tempo necessário aos respectivos desenvolvimentos, destacando-se o computador de bordo, os Sensores Inerciais e o Sistema de Controle de Rolamento.

Esse sistema de controle do veículo localiza-se num compartimento metálico de nome Baia de Controle, conforme ilustrado na figura 1, e por ser um veículo a propelentes sólidos, é o responsável pelo controle na rotação do veículo, o qual é realizado através de um sistema bi-propelente líquido, hipergólico, devido à necessidade de responder imediatamente ao comando solicitado, que tem por função permitir o controle da atitude do veículo em torno do seu eixo principal durante as seguintes fases de vôo:

- extinção da propulsão (fim de queima) dos motores do primeiro estágio;
- separação dos motores do primeiro estágio;
- vôo propulsado do segundo estágio;
- separação entre segundo e terceiro estágio;
- vôo propulsado do terceiro estágio.

Sob condições de gravidade zero ou oscilações devido à aceleração, típico de muitos veículos espaciais, a localização desse propelente dentro do tanque torna-se incerto e assim requer um meio para prevenir que gases sejam expelidos juntamente com o líquido. O

propelente deve ser confinado junto ao bocal de saída no momento de seu uso. Dois métodos podem ser citados:

- Confinamento do propelente por impulso,
- Confinamento Contínuo do propelente por expulsão positiva

#### **a) Confinamento do propelente por impulso**

Este método utiliza uma pequena força propulsiva dirigida axialmente, paralela a linha de centro do empuxo do veículo. Esta força confina o propelente na saída do tanque antes do motor principal entrar em funcionamento. Esse método elimina os dispositivos internos aos tanques de propelentes para ocasionarem a expulsão, mas requerem um reservatório separado, e ainda, tem a desvantagem de não controlar as mudanças no centro de gravidade do veículo e a baixa taxa de empuxo sob essas condições, a qual pode aumentar o tempo de resposta além do limite tolerado.

#### **b) Confinamento Contínuo do propelente**

Um método de obtenção do posicionamento correto do propelente dentro do tanque é por Confinamento Contínuo do propelente nas proximidades da saída do tanque, principalmente em tanques do sistema de controle, por se tratar de dimensões menores. Isto pode ser obtido por deslocamento positivo de propelente por uso de uma superfície móvel ou por uso das propriedades de tensão da superfície com um prato poroso ou telas.

O termo expulsão positiva descreve o aproveitamento de uma pressão diferenciada, aplicada sobre o diafragma para expelir o propelente do reservatório para queima no motor; e diafragmas são elementos metálicos ou de elastomêros, os quais formam uma membrana para separar o propelente do compartimento pressurizante. O objeto desse trabalho consiste na obtenção do diafragma metálico esférico, uma vez que os diafragmas de elastomêros podem romper se forem mantidos em contatos com os propelentes por um longo período, enquanto as ligas de alumínio são compatíveis com os produtos internos ao tanque.

Os diafragmas devem ser projetados para iniciar a inversão no ápice ou em uma região circunferencial, próxima à solda. Uma vez que a inversão tenha iniciado, o objetivo é que a pequena diferença de pressão aplicada sobre o diafragma continue o processo sem que haja flambagem na membrana. Essa inversão pode ser conseguida através de variação de dureza em toda superfície, brasagem de anéis em posições pré-determinadas ou variação de espessura através de usinagem mecânica, usinagem química ou conformação em repuxo.

Para evitar problemas de corrosão associados com materiais dissimilares em contato com o produto por um longo período de estocagem, os diafragmas são da mesma classe que os materiais do tanque. Isso permite que as juntas das peças do conjunto sejam soldadas, evitando assim, vedações e pesadas flanges para fechamentos mecânicos.

A história dos vãos espaciais é feita de muitas gloriosas inovações e fascinantes tecnologias. Dentre as evoluções rápidas da tecnologia espacial, um componente de concepção simples, o tanque com diafragma metálico ficou na prática imutável desde os primeiros vãos espaciais. Assim, a permanência dessa tecnologia, ou seja, do uso de um tanque com diafragma, é prova de sua eficiência e confiabilidade.

A fig. 2A à fig. 2D ilustra um típico diafragma metálico de tanque, numa seqüência de inversão.

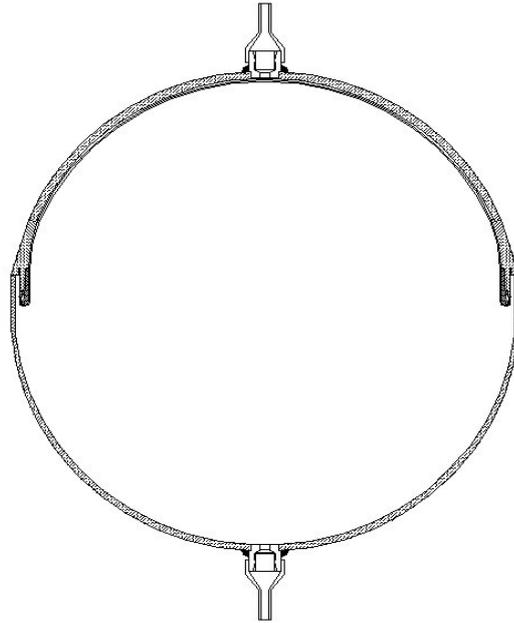


Figura 2A – Diafragma em sua posição inicial (início de vôo)

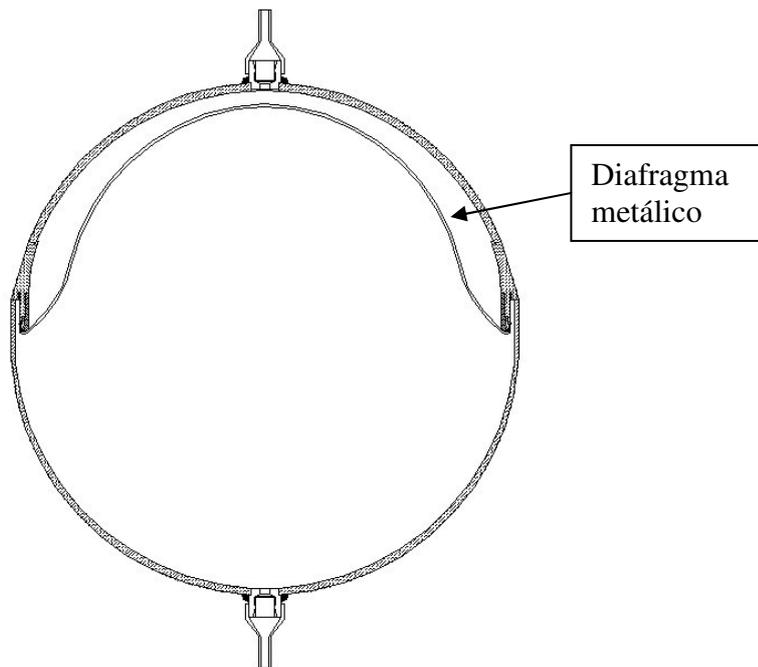


Figura 2B – Diafragma iniciando a expulsão de propelente

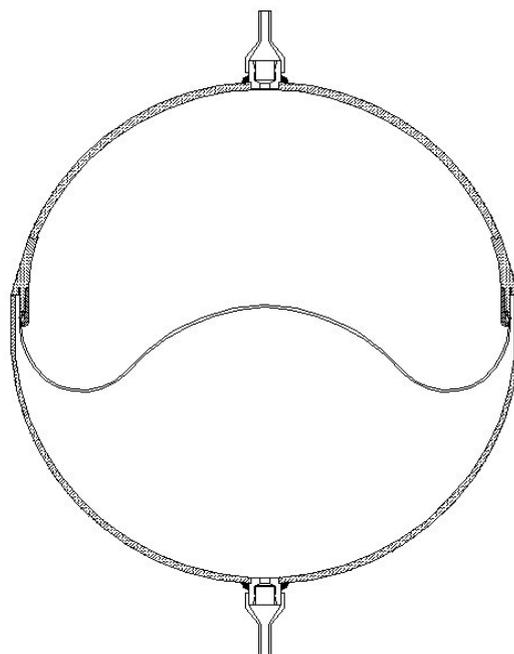


Figura 2C – Diafragma em posição intermediária

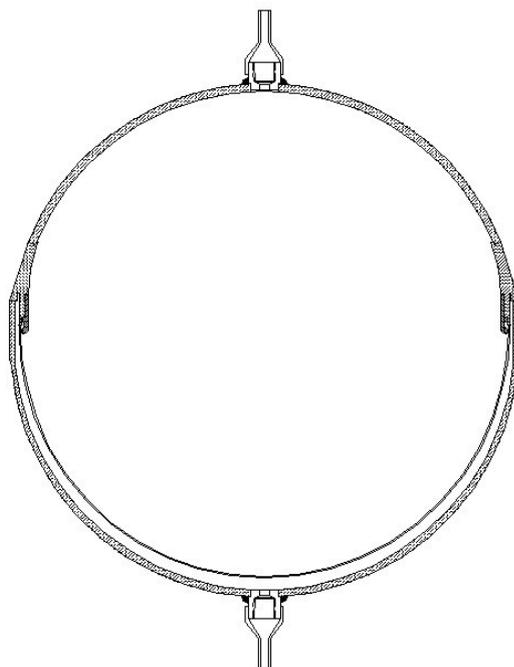


Figura 2D – Diafragma com inversão completa (fim de vôo)

Para a continuidade do projeto VLS-1 é necessário o desenvolvimento do Sistema de Controle de Rolamento, uma vez que esse sistema é importado e não existe no Brasil. Estes tanques possuem uma membrana metálica, maleável, soldadas ao anel interface. Essa solda é de alta qualidade, pois a mesma deve vedar completamente, não permitindo nenhum vazamento, por questões de segurança e confiabilidade do sistema.

A escolha do material para se fabricar os tanques, e conseqüentemente os diafragmas, recaiu sobre as ligas de alumínio devido às mesmas serem compatíveis, quanto à corrosão com os propelentes utilizados (UDMH e  $N_2O_4$ ), evitando, assim, vazamentos. Se o material

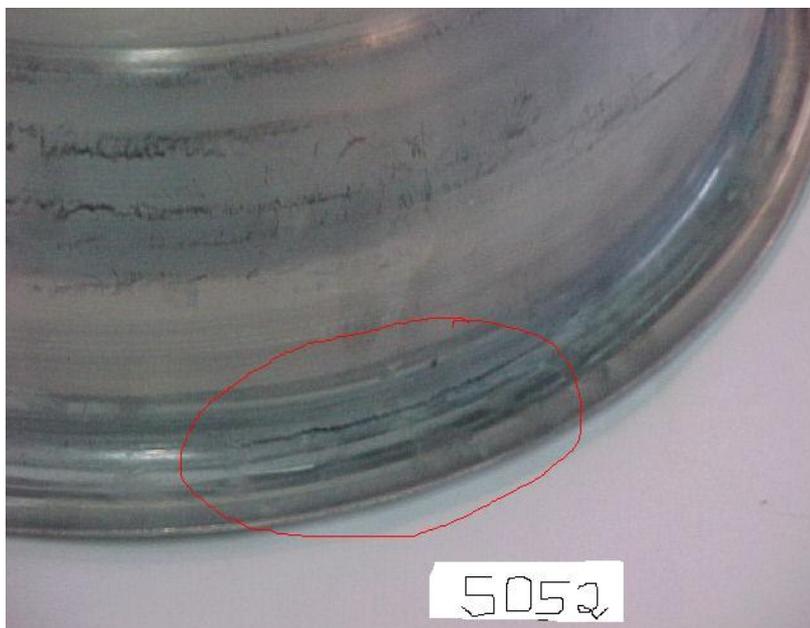
não resistir e houver vazamento em um dos tanques, causará lesões em pessoas que tiverem contatos com o produto, podendo levá-las até a morte, e, sendo nos dois tanques, por se tratar de produtos hipergólicos, a explosão será imediata.

### **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Foram realizados processos de repuxo nas seguintes ligas de alumínio: 5052, 6351 e 1050, sendo que das três repuxadas, a única que se comportou satisfatoriamente foi à liga de alumínio 1050. As outras duas ligas de alumínio 5052 e 6351 se romperam durante o processo de repuxo ou apresentaram trincas, conforme pode ser verificado na seqüência pelas fotos:



Liga de alumínio Al5052



Liga de alumínio Al5052



Liga de alumínio Al6351



Liga de alumínio Al6351



Liga de alumínio Al1050



Liga de alumínio Al1050

Foram repuxados seis *blanks* da liga Al5052, e seis *blanks* da liga Al6351, sendo que todos tiveram o mesmo comportamento, ou seja, apresentaram trincas ou rompimentos. Diferentemente, da liga Al1050 foram repuxados 12 *blanks*, sendo que nenhum deles rompeu, apresentando dessa forma o desempenho desejado. Tal desempenho consistia na obtenção de uma variação constante e uniforme no perfil do diafragma de maneira que a inversão ocorresse das bordas para o pólo do diafragma repuxado, conforme ilustrado nas figuras 2A até 2D.

## MATERIAIS UTILIZADOS

Neste trabalho foram empregados três tipos de ligas de alumínio, com as seguintes composições químicas e propriedades mecânicas:

TABELA 1 Composição Química

LIGAS	Si(%)	Fe(%)	Cu(%)	Mn(%)	Mg(%)	Cr(%)	
6351	1,01	0,28	0,08	0,47	0,83	0,02	
5052	0,09	0,25	0,008	0,005	2,30	0,25	
1050	0,06	0,38	0,02	0,005	0,0009	-----	

TABELA 2 Propriedades Mecânicas

LIGAS	Limite Resist. (MPa)	Limite escoam(MPa)	Alongamento (%)
6351	97,71±1,21	50,47±3,52	36,17±1,27
5052	127,51±0,66	110,46±7,11	13,99±0,88
1050	93,45±3,63	85,08±4,11	2,15±1,15

## CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou a viabilidade técnica do emprego da liga de alumínio 1050 para fabricação de um tanque com diafragma metálico, para uso espacial através do processo de repuxamento. A escolha do material para se fabricar os tanques, como os diafragmas, recaiu sobre três ligas de alumínio: Al5052, Al6351 e Al1050, devido às mesmas serem compatíveis com os propelentes usados, particularmente em relação à corrosão. As duas primeiras ligas Al5052 e Al6351 não apresentaram a conformabilidade desejada evidenciando a ocorrência de trincas e rompimentos. Diferentemente da liga Al1050 que apresentou o desempenho desejado, sem a ocorrência de tais problemas. O desempenho desejado consistiu na obtenção de uma variação constante e uniforme no perfil do diafragma de maneira que a inversão ocorresse das bordas para o pólo do diafragma repuxado.

## REFERÊNCIAS

- (1) VLS-1 Descrição técnica, 2005, São José dos Campos: IAE. <<http://www.iae.cta.br>>. acesso em: 12 de abril de 2006.
- (2) Coletâneas de Normas de Alumínio 2ª ed. ABNT
- (3) Design of Liquid-Propellant Rocket Engines, Vol. 147- Dieter K. Huzel