



# Simulador das rotações do voo ascendente de um foguete de sondagem em centrifugas

**Plínio Ivo Gama Tenório, Sergio Luiz Mineiro, Irajá Newton Bandeira, Rafael Cardoso Toledo e Chen Ying An.**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Plinio.tenorio@inpe.br

---

**Resumo.** Com o objetivo de verificar se as rotações durante a fase de lançamento do foguete de sondagem VSB-30, utilizado nos anúncios de oportunidade (AOs) da Agência Espacial Brasileira (AEB), influenciava no processo de solidificação das ligas eutéticas ensaiadas durante o voo, foi desenvolvido um módulo para ser acoplado na centrifuga para o estudo de solidificação de materiais em alta gravidade do Laboratório Associado de Sensores e Materiais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LABAS/INPE). Este trabalho apresentará o desenvolvimento deste módulo na centrifuga

---

**Palavras-chave:** Centrifuga; Microgravidade; Solidificação.

## 1. Introdução

Os anúncios de oportunidade (Aos) do Programa Microgravidade da Agência Espacial Brasileira (AEB) em parceria com o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) tem o objetivo de viabilizar experimentos em ambiente de microgravidade para a comunidade científica brasileira (AEB, 2018). Mais recentemente a utilização de veículos de sondagem VSB-30 foi o único meio utilizado para alcançar o objetivo das missões (Garcia et al., 2011).

O Laboratório Associado de Materiais e Sensores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LABAS/INPE) participou de várias dos Aos da AEB, inclusive das missões onde o VSB-30 foi utilizado: Cumã II (2007), Maracati II (2010) e Rio Verde (2016) (Figura 1) (Bandeira et al., 2013; An et al., 2013; AEB, 2018). Os experimentos do LABAS/INPE consistiram na qualificação de um forno multiusuário para experimentos em foguetes de sondagem (An et al., 2012) e o estudo de solidificação de ligas eutéticas em ambiente de microgravidade (Toledo, 2013).

Este trabalho tem o objetivo de apresentar o desenvolvimento de um módulo para a centrifuga do LABAS/INPE (Tenório et al., 2017), com capacidade de simular as rotações de voo ascendente do VSB-30. Esse projeto é motivado pelo interesse do laboratório em estudar a influência da rotação de lançamento no processo de solidificação de metais e semicondutores durante as operações do programa Microgravidade. O equipamento em questão tem capacidade de fornecer rotações acima de 100 RPM, devido a seu motor de 6 polos com 1 HP de potência, e robustez estrutural suficiente para suportar as solicitações mecânicas deste tipo de experimento.

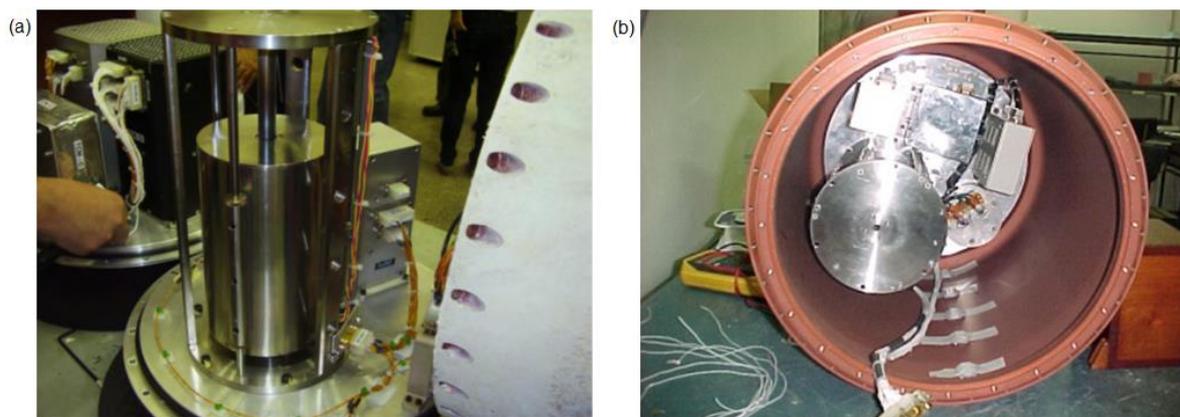


**Figura 1- Operações recentes onde o VSB-30 foi utilizado e com participação do INPE. (Brazilian Space, 2018)**

Tem por finalidade apresentar o estado da arte do problema estudado e mostrar um panorama geral sobre o assunto/tema abordado. Deve ser breve e justificar o problema estudado de forma clara, utilizando-se revisão de literatura. O último parágrafo deve conter os objetivos do trabalho realizado.

## 2. Voo do VSB-30

O VSB-30 é um foguete de sondagem que possui dois estágios de lançamento, com motores de propulsão S-30 e S-31, pode levar até 400 kg de carga útil, seu apogeu ocorre em 250 km e duração do período em microgravidade de 350 s. Durante voo ascendente o foguete pode atingir até 3,5 rps (revoluções por segundo). O compartimento de carga é dividido em segmentos e os experimentos são fixados ao foguete em um disco de alumínio, conforme é mostrado na Figura 2 (Palmeiro, 2017; AEB, 2015; Garcia et al., 2011; Correa et al., 2005).



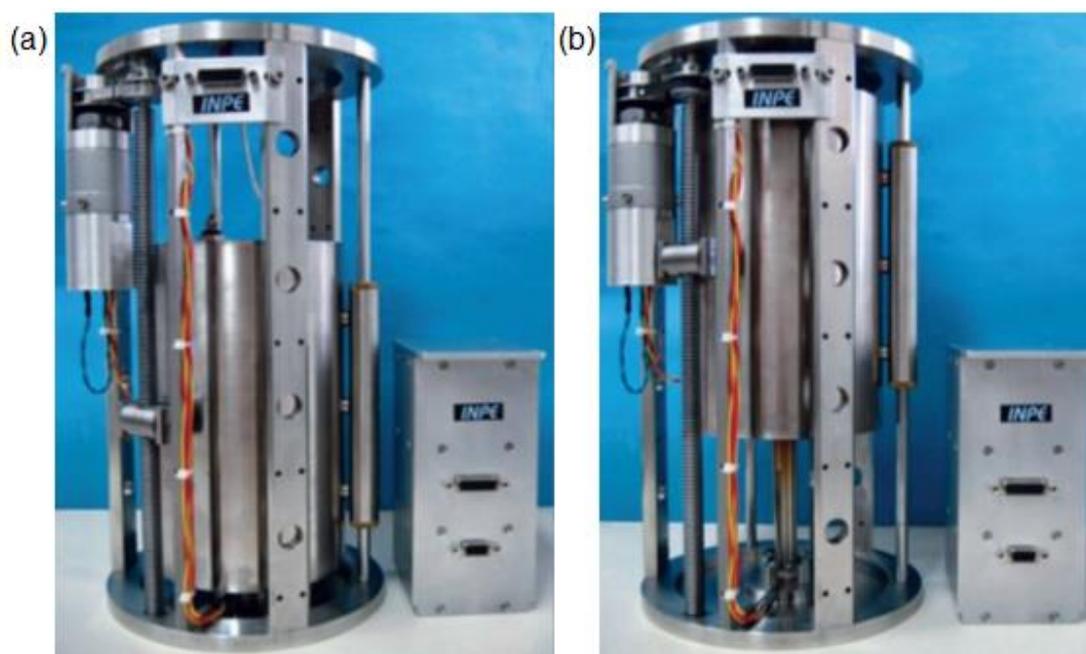
**Figura 2 - (a) Forno e unidade de controle do LABAS/INPE logo após a Operação Maracati II (Toledo, 2013); (b) Esquema de fixação dos experimentos no compartimento de carga do VSB-30.**



### 3. Experimento do INPE

Os objetivos do LABAS/INPE durante as operações tem sido: qualificar um forno multiusuário para utilização em foguetes de sondagem; e obter amostras de metais e semicondutores solidificadas em microgravidade (An et al., 2013; Bandeira et al., 2013; Toledo, 2013).

O experimento consiste nas seguintes etapas: (i) Aquecimento do forno a 500 °C, cerca de 30 min antes do lançamento; (ii) 20 s antes do lançamento o forno é desligado, por motivos de segurança; (iii) assim que o foguete atinge a trajetória parabólica de microgravidade, é enviado um comando para acionar o motor que desloca o forno no sentido axial, com o objetivo de resfriar mais rapidamente as amostras (Figura 3) (An et al., 2013; Bandeira et al., 2013; Toledo, 2013).



**Figura 3- (a) Forno multiusuário e unidade de controle utilizados na Operação Maracati II; (b) forno deslocado no sentido axial (Adaptado de An et al., 2013).**

As amostras que são solidificadas no experimento ficam em ampolas de quartzo seladas a vácuo, posicionadas dentro de um porta amostras de aço inoxidável, com o objetivo de protegê-las de vibrações ou impactos mecânicos, este é forrado com manta de fibra de quartzo e fechado nas duas extremidades, para que no caso de quebra da ampola, não ocorra vazamento de metal líquido no interior do forno (Figura 4) (An et al., 2013; Bandeira et al., 2013; Toledo, 2013).

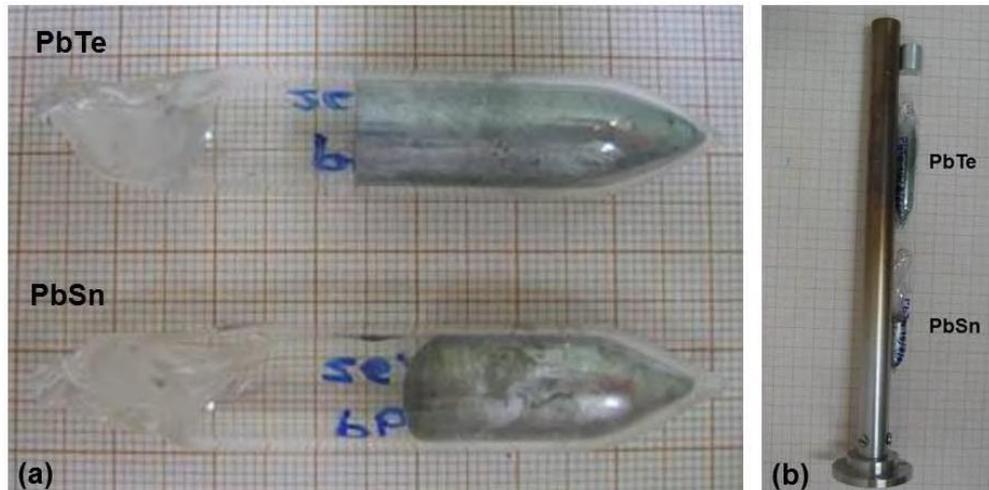


Figura 4 - (a) Liga de PbSn e PbTe solidificadas na operação Maracati II; (b) Porta amostras de segurança e posição relativa das amostras em seu interior (Bandeira et al, 2002).

#### 4. Centrifuga LABAS/INPE

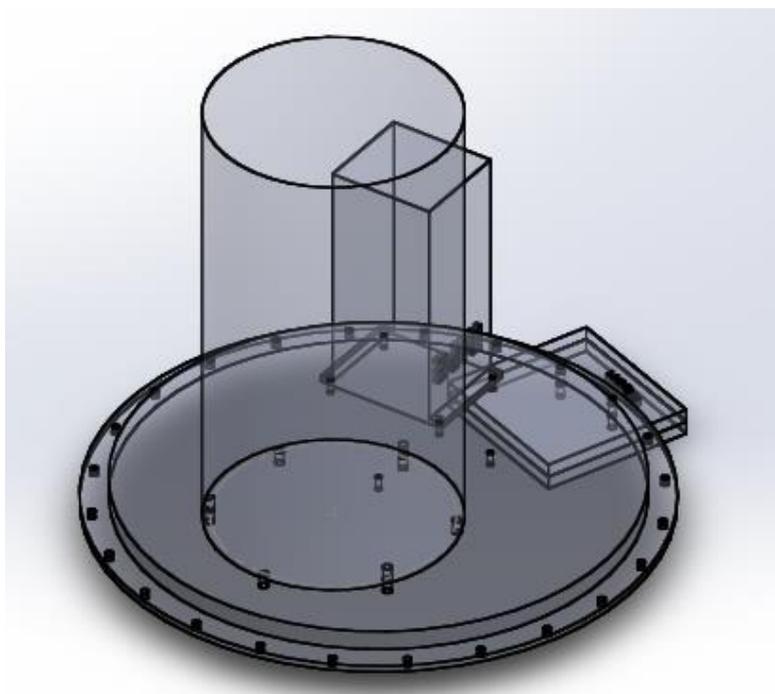
A centrifuga do LABAS/INPE dispõe de um motor elétrico W22 plus da WEG® de 6 polos e com 1 HP de potência, sua estrutura metálica base é fabricada em aço ASTM A36 e, além das análises de segurança durante projeto, já comporta um experimento que pode alcançar até 10 g ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ) com um braço de 1,5 m de comprimento (Figura 5) (Tenório et al., 2017).



Figura 5 - Centrifuga com módulo para simulação de rotações de foguetes de sondagem



No experimento na centrífuga, o forno e a unidade de controle utilizados na operação Maracati II serão fixados em um disco de alumínio, o mesmo utilizado no VSB-30, presos ao braço e ao sistema rotativo do equipamento. Por razões de segurança, contra pesos foram calculados e presos ao disco com o objetivo de manter o centro de massa do sistema forno/unidade de controle alinhado com o eixo do motor (Figura 6).



**Figura 6 - Esquema de fixação do forno e da unidade de controle no disco com contra pesos.**

### 5. Considerações Finais e próximas etapas

O projeto está em fase de integração e testes. Porém, todos os equipamentos estão operacionais. Testes no equipamento eletrônico estão em andamento e serão sucedidos por testes na centrífuga. Só então, serão realizados os ensaios de solidificação, inicialmente, na liga de PbSn eutética.

*Agradecimentos: Os autores são gratos a Agência Espacial Brasileira, a CAPES e ao CNPq pelo auxílio financeiro.*



## Referências

- AEB – AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Microgravidade. Disponível em: <http://portal-antigo.aeb.gov.br/microgravidade/>. Acesso em: 24/08/2018.
- AEB - AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Operação Maracati II. Disponível em: <http://microgravidade.aeb.gov.br/index.php/missoes/maracati-ii>. Acesso em: 21/ 11/ 2015.
- AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA – AEB. Operação Rio Verde (VSB-30). Disponível em: <http://www.aeb.gov.br/nova-versao-do-pdti/>. Acesso em: 24/08/2018.
- AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; TOLEDO, R. C.; FREITAS, F. E.; CASTILHO, F. F.; BANDEIRA, I. N. Solidification furnace for microgravity experiments on sounding rockets. *Journal of Aerospace Technology and Management (Online)*, v. 4, p. 237-240, 2012.
- AN, C. Y.; BANDEIRA, I. N.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C.; TOLEDO, R. C. Relatório de participação na Operação Maracati – 2. São José dos Campos: INPE, 2013. 26 p.
- BANDEIRA, I. N.; AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; PEIXOTO, J. C.; TOLEDO, R. C. Relatório final da operação Cumã 2: INPE – Forno multiusuário para solidificação (FORMU-S). São José dos Campos: INPE, 2013. 27 p.
- BANDEIRA, I. N.; AN, C. Y.; BOSCHETTI, C.; RIBEIRO, M. F.; FERREIRA, F. A.; PEIXOTO, J. C.; SILVA, S. Forno Multiusuário para Solidificação (FORMU-S). São José dos Campos: INPE, 2002.
- BRAZILIAN SPACE. Operação Cumã II. Disponível em: <http://brazilianspace.blogspot.com/2009/05/operacao-cuma-ii.html>. Acesso em: 04/09/2018.
- BRAZILIAN SPACE. Operação Maracati II. Disponível em: <http://brazilianspace.blogspot.com/2010/12/operacao-maracati-ii.html>. Acesso em: 04/09/2018.
- BRAZILIAN SPACE. Operação Rio Verde. Disponível em: <http://brazilianspace.blogspot.com/2016/12/operacao-rio-verde.html>. Acesso em: 04/09/2018.
- GARCIA, A.; YAMANAKA, Sidney Servulo Cunha; Barbosa, Alexandre Nogueira; Bizarria, Francisco Carlos Parquet; Jung, Wolfgang; Scheuerpflug, Frank. VSB-30 sounding rocket: History of flight performance. *Journal of Aerospace Technology and Management (Online)*, v. 3, p. 325-330, 2011.
- PALMEIRO, A. F. Introdução a Tecnologia de Foguetes. São José dos Campos/SP: SindCT. 2017.
- TENÓRIO, P. I. G.; AN, C. Y.; TOLEDO, R. C.; BANDEIRA, I. N.; FREITAS, F. E.; FUMACHI, E. F.; LOMAS, P. T. B. Desenvolvimento de uma centrífuga para solidificação de materiais em altas acelerações. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 72., 2017, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: Blucher, 2017. p.1408 – 1419.



## **X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais**

7 a 9 de agosto de 2019

TOLEDO, R. C. Estudo da solidificação de ligas metálicas eutéticas em ambiente de microgravidade. 217 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.