

# A TECNOLOGIA DE PROPULSÃO LÍQUIDA NO BRASIL

**Victor Magno Gomes Paula,**

graduando em Engenharia Elétrica pela UFJF.  
Membro do Centro de Pesquisas Estratégicas  
“Paulino Soares de Sousa”,  
da UFJF.

[victor.magno@engenharia.ufjf.br](mailto:victor.magno@engenharia.ufjf.br)

Iniciado em 1961 o programa de foguetes brasileiros deu seus primeiros passos quando por decisão dos Centros de Pesquisas ligados à Força Aérea Brasileira (FAB) fundaram no Estado do Rio Grande do Norte, norte do país, a Base de Foguetes de Barreira do Inferno. Inicialmente eram lançados da recém construída base, foguetes importados dos Estados Unidos e ao mesmo tempo avançavam as pesquisas para a produção nacional destes vetores culminando com a construção poucos anos depois do pequeno e primeiro foguete de sondagem 100% nacional, o Sonda-1, seguidos de seus irmão maiores Sonda 2, 3 e 4, em um passado recente o VS-30 e o VS-40 e mais jovem de todos, o VSB-30 usado pelo Programa Microgravidade da Agência Espacial Brasileira (AEB) e também vendidos e lançados pela ESA européia.

Com base nas tecnologias desenvolvidas para os foguetes da família Sonda com destaque ao maior e mais complexo de todos, o Sonda-4, o Brasil desenvolveu sua tecnologia de propulsão utilizando combustíveis sólidos tipo composite. Tal tipo de combustível foi escolhido para equipar também os motores dos quatro estágios do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1), principal projeto do Programa Espacial Brasileiro na área de lançadores.

Foi no desenvolvimento do VLS-1 que os pesquisadores brasileiros notaram que uma tecnologia primordial para os futuros nacionais ainda não era dominada em sua plenitude: *a tecnologia de motores foguete com propulsão líquida.*

---

## ***O Brasil e a tecnologia de propulsão líquida***

---

A pesquisa sobre propulsores a combustível líquido no Brasil iniciou-se na década de 1980, quando o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos desenvolveu um micropropulsor monopropelente a hidrazina, testado com sucesso em 1984 e se tornando um feito pioneiro na América Latina. Posteriormente, em 1991, o mesmo instituto de pesquisas testou seu primeiro motor-foguete bipropelente.

Página 7

## Primeiro micropropulsor a hidrazina é testado com sucesso

O primeiro protótipo de um micropropulsor à decomposição catalítica de hidrazina, da América do Sul, passou por testes bem-sucedidos no último mês de maio. O trabalho foi realizado pela Divisão de Combustão e Propulsão do INPE, em Cachoeira Paulista, e terá aplicação direta no controle de órbita e atitude do satélite brasileiro que está sendo construído pelo Instituto.

A hidrazina, em contato com um catalisador, decompõe-se liberando uma grande quantidade de calor e gerando os gases hidrogênio, nitrogênio e amoníaco, capazes de propelir ou estabilizar um veículo espacial. O sistema testado foi construído com tecnologia desenvolvida pelos técnicos do INPE e constitui-se de um micropropulsor, uma válvula bi-estável, um vaso de pressão, além dos sub-sistemas de alimentação e de comando.

O micropropulsor teve sua tuberia e seu leito catalítico dimensionados para produzir um empuxo de 6N (newtons) sob uma vazão mássica de 3,6 gr/seg. de hidrazina anidra. A válvula bi-estável necessita de pulsos de energia apenas para passar da posição fechada para aberta (e vice-versa), permanecendo o restante do tempo desenergizada. O vaso de pressão foi projetado para testes de solo apenas, operando com uma pressão de 40 atm e uma razão de "blow down" (pressão final / pressão inicial) maior do que 0,8.

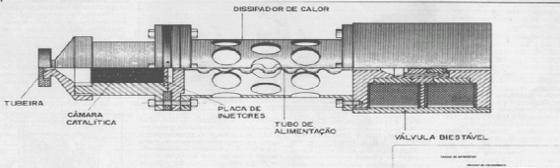
O princípio deste sistema é utilizado na maioria dos satélites construídos até o momento, para controle de órbita e atitude. Os técnicos do INPE, que ressaltam a importância de ser

esta a primeira vez que se queima combustível líquido para empuxo de foguetes na América do Sul, explicam ainda que sem o desenvolvimento desta tecnologia, dificilmente se consegue controlar a atitude do satélite, ou seja, a posição que o mesmo deve permanecer no espaço.

O engenheiro Líbano José Faria, do Departamento de Energia Espacial ao qual está vinculada a Divisão responsável pelo desenvolvimento do motor e seus testes, explica que a hidrazina é altamente corrosiva e tóxica. Por este motivo, os técnicos do INPE utilizam somente aço inoxidável na construção de todas as tubulações e componentes do sistema, já que é o único material resistente a este tipo de corrosão e todo o trabalho é feito dentro de um rígido controle de segurança. Alémes, russos, franceses e americanos têm utilizado o mesmo princípio deste sistema em foguetes de grande porte para a exploração do espaço, como foi o caso do foguete norte-americano "Saturno", que colocou em órbita a nave "Apolo".



**Equipe do INPE responsável pelo desenvolvimento do motor a hidrazina**



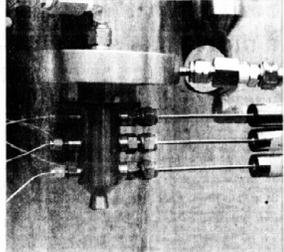
Protótipo 1 do Micromotor de Empuxo 15 N para decomposição catalítica de hidrazina. Na figura menor está o sistema de teste utilizado na bancada do DCP para ensaio do motor.

**JORNAL ESPACIAL - CNPq/INPE**  
**Ano XI nº55 Abril/Maio/Junho de 1984**

## OS PROPELENTES MAIS EFICIENTES\*

(em segundos)

Hidrogênio (gás frio)	301
Hidrazina e tetróxido de nitrogênio (bipropelente)	283
Hidrazina (monopropelente)	199
Nélio (gás frio)	179
Hidrazina e peróxido de hidrogênio (bipropelente)	177
Nitrogênio (gás frio)	80



Parte do protótipo do motor do Inpe onde acontece a combustão

## Inpe fabrica propulsores do próximo século

**Da Reportagem Local**

Pesquisadores do Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe) aperfeiçoaram a tecnologia de propulsão de satélites pesados para fabricar os propulsores que serão utilizados em satélites geostacionários brasileiros na virada do século. Os técnicos do Laboratório de Combustão e Propulsão (LCP) de Cachoeira Paulista (195 km a nordeste de São Paulo) estão produzindo o tetróxido de nitrogênio para substituir o peróxido de hidrogênio — mais conhecido como água oxigenada — empregado até agora.

O projeto vinculado ao LCP ganhou o nome de Biprop devido a seu objetivo: desenvolver sistemas bipropelentes, os que usam dois compostos para combustão. Estes seriam o combustível propriamente dito e um comburente, que garante a "queima" (oxidação) do primeiro. O tetróxido de nitrogênio é o comburente que será usado junto com o combustível hidrazina.

Até agora, o comburente utilizado era o peróxido de hidrogênio, de simples obtenção. O tetróxido tem uma produção mais complicada, mas é mais estável do que a água oxigenada.

O combustível hidrazina é produzido desde 1964 no Brasil. Ela é obtida através da destilação do monóxido de hidrazina — hidrazina associada a uma molécula de água. É necessária uma pureza de 99% para que a substância possa ser utilizada como combustível para foguetes ou satélites.

A hidrazina é considerada um produto estratégico. Os sete países mais industrializados proibiram sua comercialização em pureza superior a 70%. Abaixo disso, a hidrazina é usada em medicamentos e na lavoura.

A hidrazina é empregada em sistemas bipropelentes e monopropelentes. Segundo o pesquisador Carlos Eduardo Rolison Salles, 40, que trabalha no projeto, a diferença entre os dois é que "o bipropelente já tem o oxidante e o combustível e ambos participam da reação que impulsiona a nave. No monopropelente, só há o combustível. Este gera energia na presença de um catalisador, que direciona o comburente para não participar da reação".

Ha também uma grande diferença entre os combustíveis líquidos (como a hidrazina) e os sólidos. Estes, uma vez iniciada a combustão, não param de gerar energia. Os combustíveis líquidos podem queimar em intervalos controlados. Daí sua principal utilização como propulsores de satélites, que devem ser impulsionados por alguns momentos para que sua posição seja corrigida.

Salles acredita que, até a virada do século, o Brasil já terá desenvolvido tecnologia para construir satélites geostacionários. Um foguete coloca o satélite a uma altitude de cerca de 800 quilômetros. A órbita geostacionária fica a cerca de 36 mil quilômetros. O bipropelente será usado para pôr o satélite na órbita correta. —(RE)

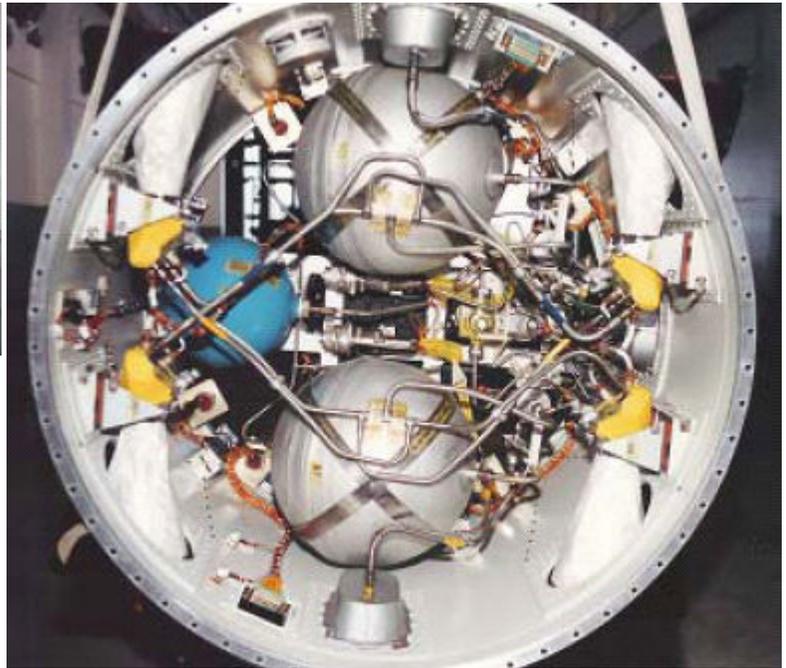
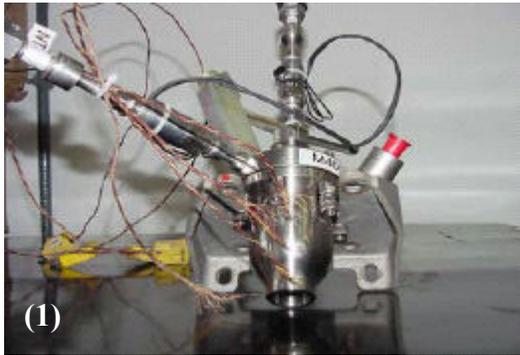
**Jornal Folha de São Paulo - Caderno Ciência**  
**de 18/01/1991**

As pesquisas continuaram, e entre os anos de 1995 e 1996, o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), órgão vinculado ao Centro de Tecnologia Aeroespacial (CTA), em conjunto com o INPE, decidem desenvolver um motor refrigerado a água para estudos básicos para então projetar e construir uma câmara de combustão e injetores de um motor-foguete de 10kN de empuxo. Os estudos não foram adiante devido à falta de recursos financeiros na época.

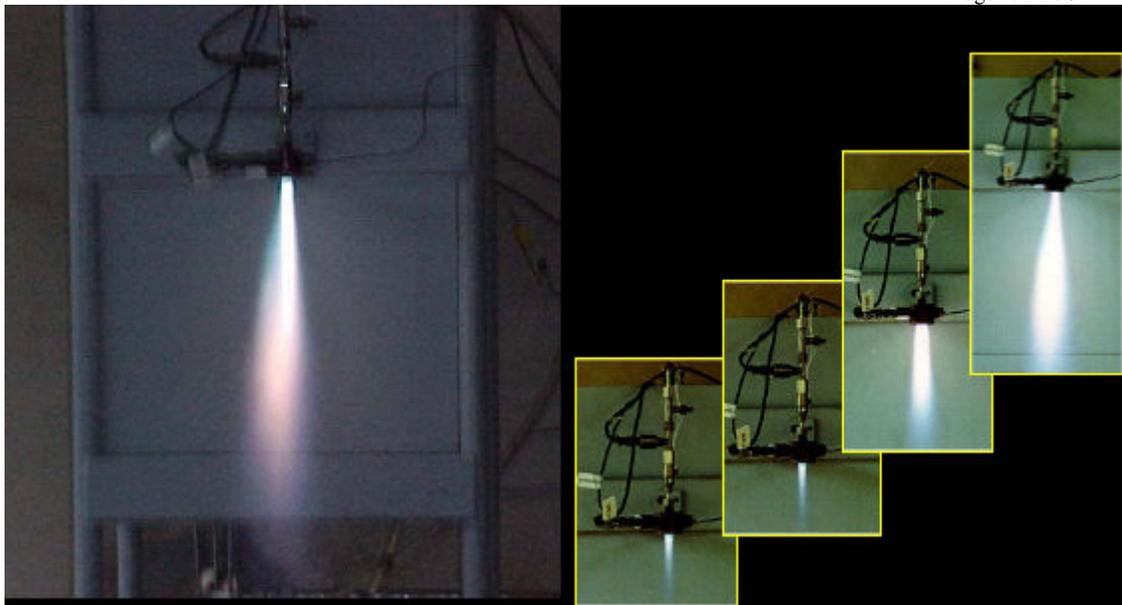
Em 1999 foi criado no IAE/CTA o Grupo de Propulsão Líquida que iniciaram os estudos para a nacionalização do sistema de controle de rolamento do VLS-1 que utiliza motores-foguete de propulsão líquida de 400N de empuxo, cuja construção é russa, e iniciado também os estudos para o desenvolvimento do primeiro motor-foguete a querosene e oxigênio líquido.

Entre 2000 e 2002 foi projetado e construído um sistema ignitor para motores-foguete líquido baseado em ignitor gás-dinâmico.

Com os avanços obtidos, em 2001 o motor-foguete de 400N para o sistema de rolamento já estava pronto para testes reais em bancos de testes do INPE que simulariam ambientes na atmosfera em espaciais. Todos os testes foram realizados com sucesso entre os anos de 2002 e 2004.



Acima o sistema de rolamento do VLS-1 composto de 4 propulsores de 400N russos. Ao lado, em seu modelo de desenvolvimento(1) e de voo(2), o propulsor nacional que substituirá o importado.



**Ignitor Gás-dinâmico para motores a propulsão líquida**

Paralelamente aos outros desenvolvimentos, o IAE iniciou ainda em 2001 os estudos para fabricação de um motor maior com 5kN de empuxo utilizando querosene e oxigênio líquido que substituiria o quarto estágio do VLS-1. O processo produtivo do motor foi realizado entre os anos de 2003 e 2004. Em 17 de novembro de 2005, o agora chamado “Motor-Foguete a Propelente Líquido de 5kN” (MFPL-5) realizou seu teste “a quente” com sucesso no banco de testes do IAE.

Os animadores resultados obtidos levaram o IAE em parceria com a empresa brasileira “Orbital Engenharia LTDA” a desenvolverem um motor-foguete maior chamado de “MFPL-15” que possui um empuxo de 15kN, com câmara de empuxo do tipo radiativa ou ablativa e empuxo no vácuo. Este motor já foi testado com sucesso e permitirá que a partir dele se desenvolva o foguete de sondagem mono-estágio recuperável VS-15.

Tanto o “MFPL-5” quanto o “MFPL-15” são motores que possuem seus tanques pressurizados a gás (hélio ou hidrogênio) dispensando o uso de turbobombas. Esta tecnologia é conhecida mundialmente como “pressure-fed cycle”, utilizado, por exemplo, nos motores-foguete “Kestrel”, último estágio do foguete “Falcon 1” da empresa privada de lançamentos espaciais estadunidense “SpaceX”.

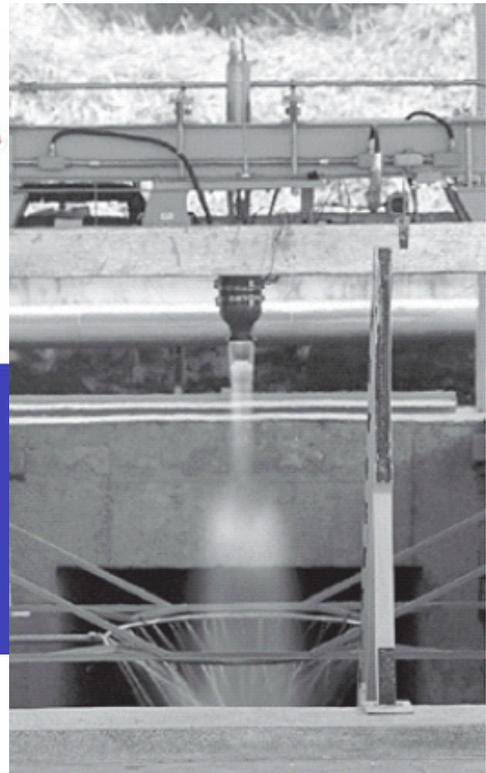
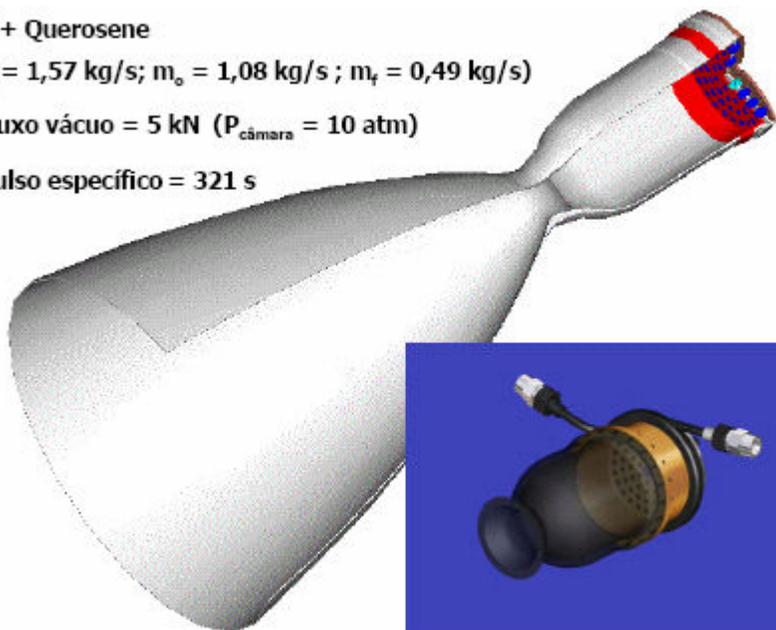
Imagens: IAE/CTA

LOX + Querosene

$(m_{cc} = 1,57 \text{ kg/s}; m_o = 1,08 \text{ kg/s}; m_f = 0,49 \text{ kg/s})$

Empuxo vácuo = 5 kN ( $P_{câmara} = 10 \text{ atm}$ )

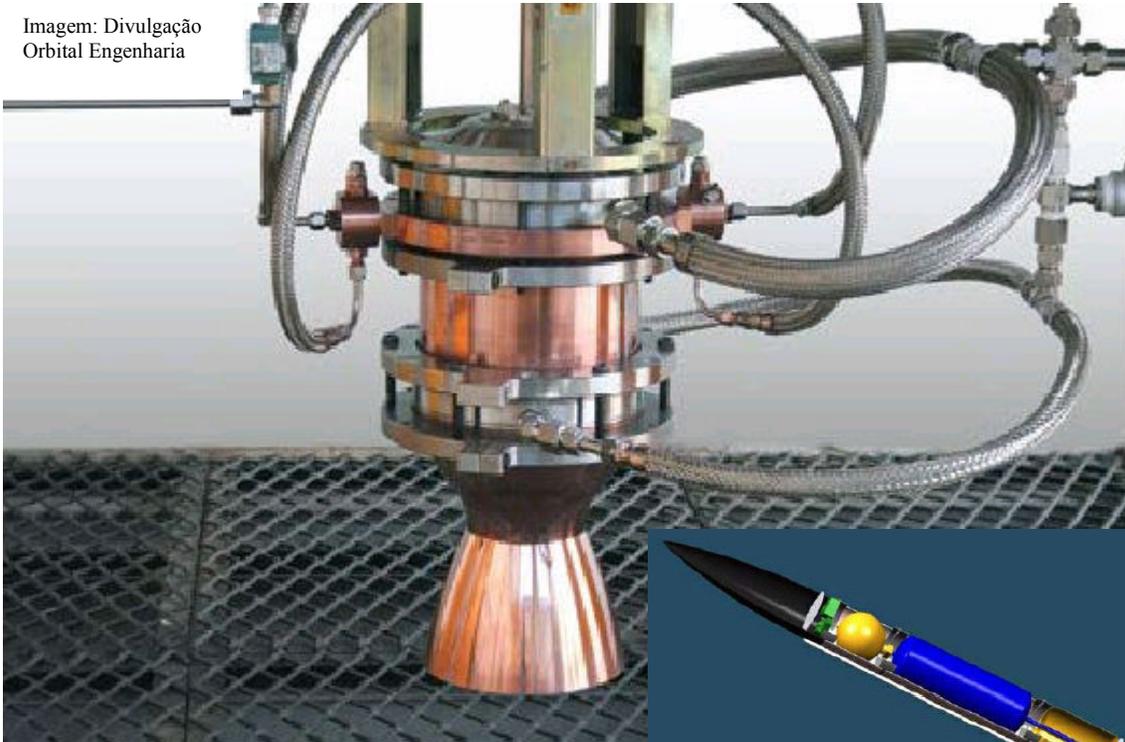
Impulso específico = 321 s



**Acima: esquemas do motor-foguete MFPL-5.**

**Ao Lado: MFPL-5 em testes “a quente” no IAE em 2005.**

Imagem: Divulgação  
Orbital Engenharia



**Motor MFPL-15 em bancada de testes e o foguete de sondagem VS-15 que futuramente o utilizará.**

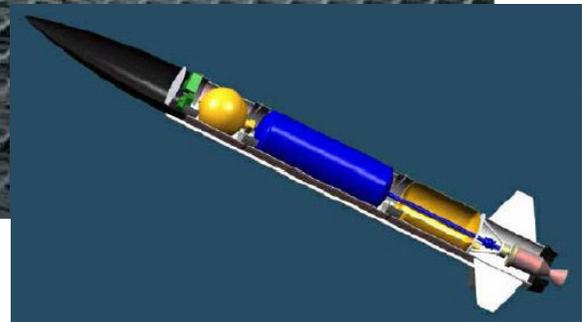


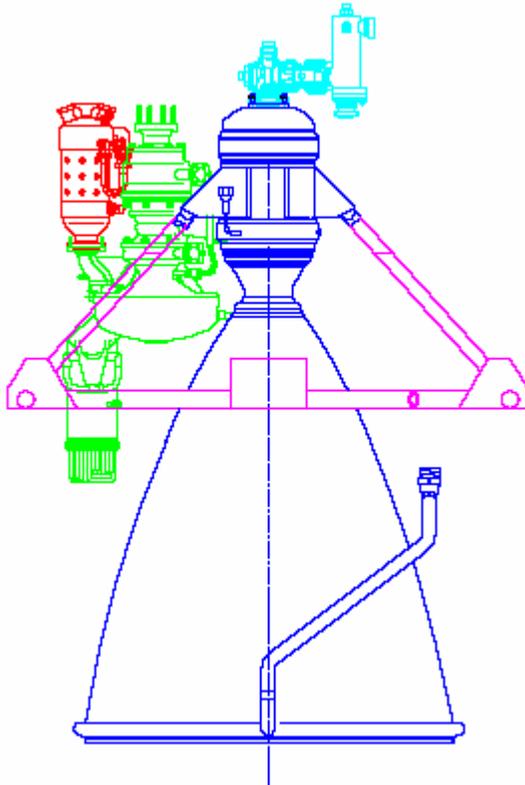
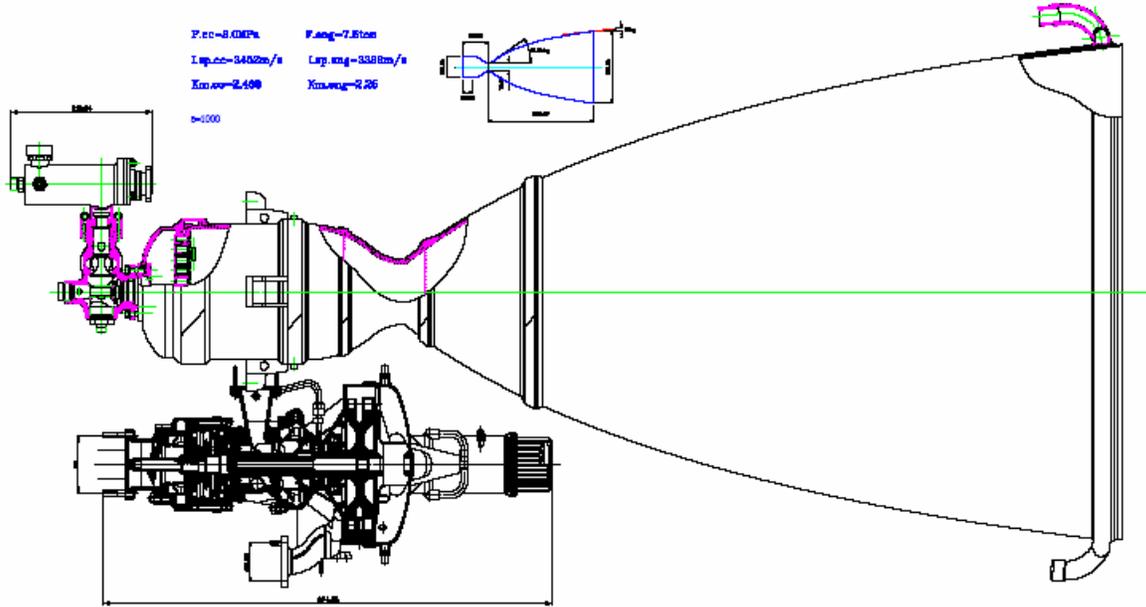
Imagem: IAE/CTA

Os próximos passos do projeto são mais ambiciosos. Está projetado o motor-foguete a propelente líquido “MPFL-75” (ou L-75) que será mais complexo que os motores anteriormente descritos.

O “MPFL-75” será movido a oxigênio líquido e querosene, terá 75kN de empuxo e será provido de turbobomba com câmara de empuxo regenerativa e empuxo no vácuo. Este motor-foguete terá características semelhantes ao RD-0109 russo.

Pretende-se com este motor-foguete substituir os estágios 3 e 4 do atual VLS-1, dando origem ao VLS-1B ou na denominação do Programa Cruzeiro do Sul (PCS), VLS-Alfa. Além do “Alfa”, os demais veículos da série de lançadores “Cruzeiro do Sul” (VLS - Beta, Omega, Gama e Epsilon) farão uso do MPFL-75 em conjunto com o maior motor (ainda não projetado) MPFL-1500 (ou L-1500) de 1500kN de empuxo, em diversas configurações.

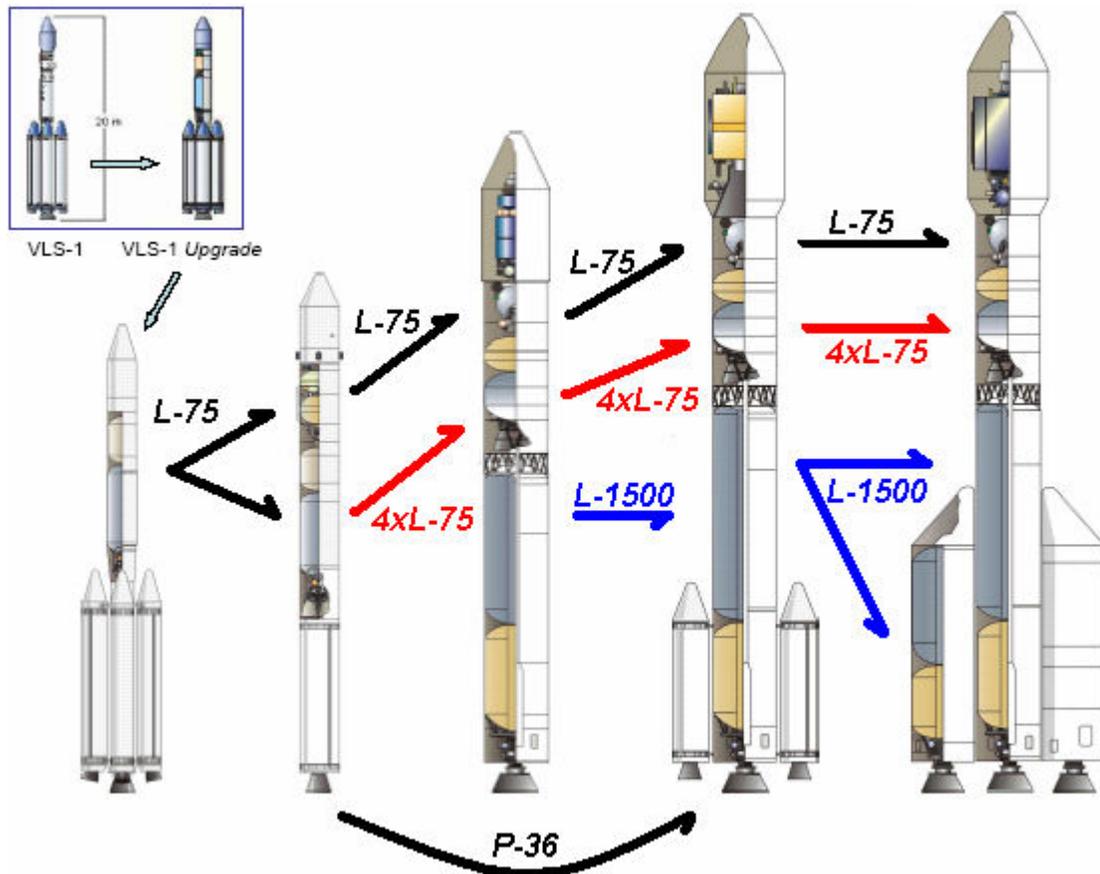
Imagens: IAE/CTA



Crédito: KBKhA



**Dois esquemas do MPFL-75 do IAE/CTA  
Notar a semelhança com o motor-foguete russo RD-0109 (foto)**



**Programa de lançadores “Cruzeiro do Sul” – Observar os respectivos motores que compõe cada foguete, dentre estes o L-75 e o L-1500 comentados anteriormente. O P-36 será um novo motor a propelente sólido de grande porte a ser desenvolvido.**

### *Infra-estrutura de testes: aqui se garante o sucesso*

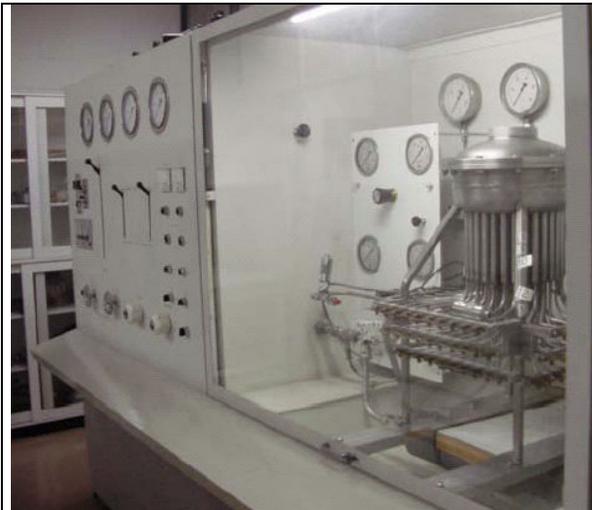
Baseado em seus mais importantes centros de pesquisas, em parceria com Universidades nacionais, Indústria e cooperação internacional, o IAE é hoje o principal gestor do processo para a obtenção da tecnologia de propulsores líquidos no país. Para tal, este centro de pesquisa decidiu implantar o Laboratório de Propulsão Líquida (LPL) objetivando ter uma adequada infra-estrutura de testes, através de bancos para experimentos com componentes hidráulicos e injetores, de sistemas pneumáticos, de turbobombas, de motores-foguete de até 20kN de empuxo e de motores-foguete de até 400kN de empuxo.

Dentre a infra-estrutura já instalada, é possível citar:

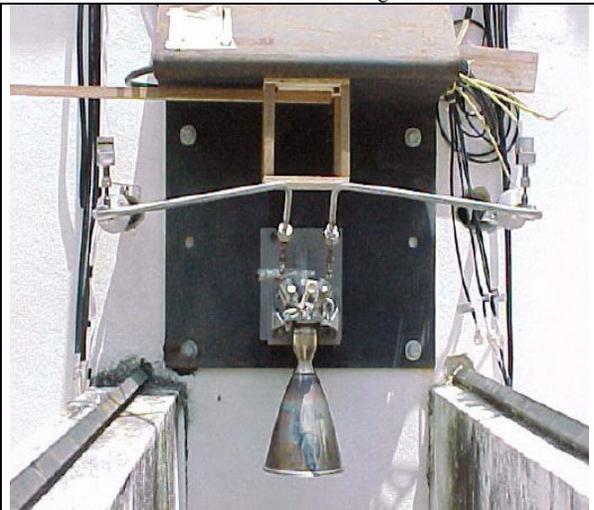
- Banco de Testes em Condições Atmosféricas (Cachoeira Paulista – Estado de São Paulo) que possui condições de ensaiar câmaras com empuxo de até 2000 N, operando com tetróxido de nitrogênio e hidrazina e seus derivados (UDMH, MMH<sub>2</sub>);
- Banco de Testes com Simulação de Altitude (Cachoeira Paulista - SP) que possui capacidade para testar motores monopropelentes, em geral hidrazina, até 150 N e, bipropelentes utilizando tetróxido de nitrogênio e MMH, até 200 N;

- Banco de Provas para Propulsão Líquida de 20kN (IAE/CTA) que possui capacidade de ensaiar câmaras de empuxo, operando com oxigênio líquido e querosene (ou álcool), de até 20kN de empuxo;
- Recentemente foi contratada a companhia russa "Konstruktorskoe Buro Khimavtomatiky" - OSC KBKhA, com o objetivo de elaborar um complexo de testes e banco de testes para os motores-foguete a propelente líquido de até 400kN, no valor de € 850 mil. Esta é uma medida concreta em relação à parceria internacional Brasil-Rússia na área de foguetes com propulsão líquida;
- Banco de ensaios hidráulicos no Laboratório de Propulsão do IAE/CTA para ensaios "a frio" de pressão-vazão, homogeneidade do jato de injetores bipropelentes, razão de mistura, dentre outros testes;
- Para o teste e desenvolvimento de turbobombas, a proposta do IAE é adaptar seu Laboratório de Turbinas que possibilitará a realização de diversos ensaios necessários no desenvolvimento destes sistemas.

Imagens: IAE/CTA/INPE



**Banco de ensaios hidráulicos – Laboratório de Propulsão – ASE/IAE/CTA**



**Banco de Testes em condições atmosféricas para motores de até 2000N – INPE**



**Banco de Provas para motores-foguete à propulsão líquida de até 20kN de empuxo-IAE**



**Banco de Testes com Simulação de Altitude – INPE**

## *Considerações Finais*

---

Após anos de pesquisa e desenvolvimento de foguetes utilizando motores de propelente sólido, é fato que a tecnologia dos motores a propelentes líquidos nunca foi ignorada por parte das entidades de pesquisas ligadas ao Programa Espacial Brasileiro (PEB). Tal importância se materializa hoje em pesquisas e construções de protótipos, ainda que a nível acadêmico, indicando um caminho inicial a trilhar. O importante apoio de instituições russas por meio de formação de mão-de-obra e transferência de tecnologia também não deve ser esquecido.

É interessante destacar que este tipo de tecnologia nos remete à década de 30 quando foram realizados os primeiros estudos do emprego de propelentes líquidos em foguetes, amadurecendo o conceito nos anos 40 durante a Segunda Guerra Mundial e os foguetes alemães A-4, mais conhecidos como V-2.

A estratégia que hoje se propõe em adotar o IAE/CTA, comprando um projeto russo de motor-foguete e posteriormente o nacionalizando se mostra acertada, principalmente quando tomamos como base os programas espacial chinês e indiano que foram baseados exatamente nestes moldes, obtendo sucessos relevantes. O uso de um motor-foguete como o RD-0109 russo, mesmo sendo este um projeto empregado nos foguetes da família R-7 soviéticos dos anos 50, pode ser vantajoso para o país, uma vez que os métodos que poderão ser empregados para a fabricação dos componentes destes motores não significariam maiores problemas dada a evolução dos processos industriais presentes no Brasil, possibilitando um desejado aperfeiçoamento deste engenho e assim antecipando etapas que fazem diferença em um programa já bastante atrasado.

O domínio de um processo tão complexo não poderia avançar sem uma base sólida de experimentações e para isso estão sendo instalados bancos de testes para vários sistemas específicos deste sistema. É destacada a participação da indústria nacional neste sentido, provendo tais sistemas quando possível e em parceria com os centros de pesquisa nacionais.

Os passos seguintes marcarão o futuro do PEB. O sucesso do VLS-1B (Alfa no PCS) previsto para 2013, marcará o futuro das pesquisas na área nos próximos anos, e, pelo que se nota a parceria com a Federação Russa não ficará em segundo plano dado o bom histórico de cooperação entre os dois países no setor espacial. Logicamente, sem os devidos aportes de recursos não será possível o cumprimento das metas e prazos previamente estabelecidos.

Um programa espacial bem estruturado tem reflexos em diversos setores da sociedade civil. Muitos produtos em uso em nosso cotidiano são frutos de pesquisas realizadas para o setor espacial. No Brasil, além de importantes benefícios civis, não é possível dissociar a contribuição que o desenvolvimento das tecnologias associadas dariam à área de defesa, com novos produtos específicos para o imediato emprego operacional.

---

## **Referências Bibliográficas**

CTA – Ciência e Tecnologia para a Defesa Nacional, Brig. Eng. Venâncio Alvarenga Gomes – 62º Fórum de Debates Projeto Brasil / Dezembro 2008.

O Desafio da Propulsão Líquida no Brasil – CTA/IAE - 1º SBPL/Associação Aeroespacial Brasileira, Cel. Av. José Carlos Argolo. <http://www.aeroespacial.org.br>

Capacitação em Propulsão Líquida no IAE, Ten. Cel. Av. Fausto Ivan Barbosa – CTA/IAE – 1º SBPL/Associação Aeroespacial Brasileira. <http://www.aeroespacial.org.br>

A infra-estrutura para testes de motor foguete a propelentes líquidos, Maj. Av. Avandelino Santana Junior – CTA/IAE - 1º SBPL/Associação Aeroespacial Brasileira. <http://www.aeroespacial.org.br>

[www.defesa.ufjf.br](http://www.defesa.ufjf.br)

**Universidade Federal de Juiz de Fora**

