

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA





Petrônio Noronha de Souza é Engenheiro Mecânico pela UNICAMP (1982), com Mestrado em Ciência Espacial/Mecânica Orbital pelo INPE (1986) e Doutorado em Engenharia pelo Cranfield Institute of Technology (Inglaterra) em 1993. No INPE trabalhou na Missão Espacial Completa Brasileira de 1986 a 1990, tendo participado do desenvolvimento do Amortecedor de Nutação dos satélites da série SCD. Iniciou o projeto do Experimento Roda de Reação (ERR) que integrou o satélite SCD-2. Em 1995 assumiu a coordenação do Grupo de Projetos da Divisão de Mecânica Espacial e Controle (DMC). Nesta atividade participou da conclusão dos satélites SCD, do projeto do satélite científico SACI-1 e do projeto da gôndola do telescópio imageador MASCO. De 1997 a 1999 assumiu a chefia da DMC. Ocupou de 1998 a 2005 a gerência no INPE do Programa Brasileiro para a Estação Espacial Internacional, programa desenvolvido junto à NASA e à Agência Espacial Brasileira. Em 2004 fundou a Associação Aeroespacial Brasileira (AAB).

Petrônio Noronha de Souza

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal 515

12245-970, São José dos Campos, SP

petronio@iss.inpe.br



SUMÁRIO

3 Introdução

5 Como funcionam os satélites

13 Panorama e história das atividades espaciais

23 Panorama e histórico das atividades espaciais no Brasil

25 A organização do Programa Espacial Brasileiro

27 Os Satélites de Coleta de Dados 1 e 2 (SCD-1 e SCD-2)

31 Projeto conjunto Brasil-China para o desenvolvimento de satélites de recursos terrestres

39 O programa brasileiro de pequenos satélites e satélites científicos

41 Atividades

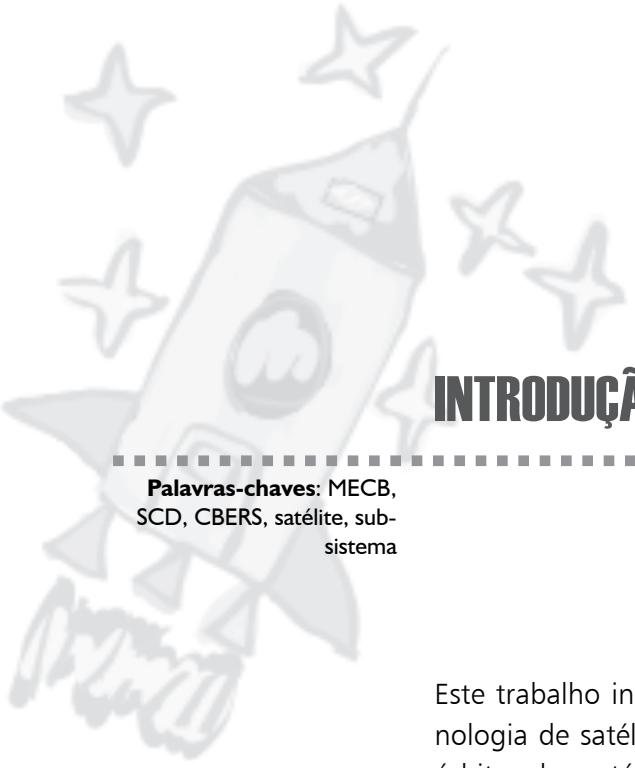
41 Oficina "Como girar um satélite"

45 Problemas de movimentação num ambiente de microgravidade

57 CD Interativo "Satélites e seus subsistemas"

59 Referências Bibliográficas

61 Apêndice A



INTRODUÇÃO

Palavras-chaves: MECB,
SCD, CBERS, satélite, sub-
sistema

Este trabalho inicia apresentando um embasamento técnico sobre a tecnologia de satélites. Nele são abordados aspectos variados associados às órbitas dos satélites e aos satélites propriamente ditos, por meio de uma descrição geral de suas partes principais e da função de cada uma delas. Também são descritas as várias fases do seu ciclo de vida. As descrições são acompanhadas de ilustrações e fotografias de equipamentos reais, incluídas com o objetivo de informar e melhorar o entendimento.

Em seguida o trabalho traz um pouco da história das atividades espaciais, tanto no Brasil quanto no exterior. Ele também apresenta, numa abordagem histórico/técnica, algumas das missões mais relevantes do Programa Espacial Brasileiro na área de satélites e suas aplicações.

COMO FUNCIONAM OS SATÉLITES

Versão revisada e atualizada
em abril/2006 com o auxílio
de Clarissa Danna (AEB).

(Adaptado de Fonseca,
2004)

Movimento orbital e atitude¹

Satélites artificiais normalmente giram ao redor da Terra, também podendo ser colocados em órbita da Lua, do Sol ou de outros planetas. A trajetória do satélite em torno da Terra define a sua órbita. O movimento orbital do satélite pode ser entendido como o movimento de um ponto de massa ao redor da Terra. Este ponto representa toda a massa do satélite.

As órbitas terrestres podem ser baixas ou altas. Por exemplo, uma altitude de 300 km define uma órbita baixa, enquanto que, uma órbita de 36.000 km define uma órbita alta. O satélite mantém-se em órbita devido à aceleração da gravidade e à sua velocidade. Dessa maneira, ele permanece em constante queda livre em torno da Terra, comportando-se como se estivesse “preso” em sua órbita. É importante notar que satélites podem ficar girando em órbita da Terra por um longo tempo, sem que seja necessário consumir combustível continuamente, como é o caso dos aviões.

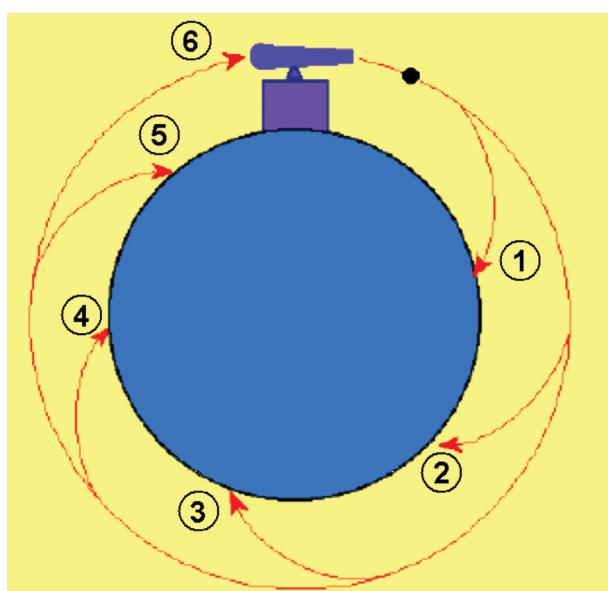


Figura 1. Como um objeto poderia ser colocado em órbita da Terra. Os tiros de 1 a 5, embora cada vez mais intensos, não foram capazes de impulsionar a bola com velocidade suficiente. O tiro 6 foi capaz e, por isso, a bola foi colocada em órbita.
Fonte: Souza (2005).

A Figura 1 apresenta uma ilustração que foi originalmente elaborada por Isaac Newton, quando apresentou a Lei da Gravitação Universal. Nela ele sugere que de um canhão suficientemente potente colocado no alto de uma montanha, seria possível lançar um projétil que permaneceria em órbita da Terra. Guardadas as devidas proporções, essa foi

¹ Adaptado de Fonseca, 2004.

uma sugestão tecnicamente fundamentada de como seria possível colocar um artefato em órbita de nosso planeta.

Uma outra forma de explicar o fenômeno seria imaginando um experimento de lançamento de uma pedra. Se ela for levantada e solta, a mesma cai verticalmente puxada pelo seu peso, isto é, pela força da gravidade. Se jogada horizontalmente em frente, ela também cai, só que desta vez realiza uma trajetória curva antes de atingir o solo. Se lançada com bastante força de um local alto, esta ainda descreve um arco antes de cair ao solo, só que muito mais longe. Se for possível lançá-la com tanta força que o arco que realiza seja paralelo à curvatura da Terra, então a pedra dará uma volta na Terra, passando pelo ponto de lançamento e continuará “caindo”, isto é, dando voltas em torno da Terra, desde que o atrito com o ar seja desconsiderado. Neste momento pode-se dizer que a pedra entrou em órbita e se transformou num satélite da Terra.

As órbitas sofrem alterações ao longo do tempo, pois outras forças atuam sobre o satélite. Dentre elas destacam-se as atrações gravitacionais do Sol e da Lua, além dos efeitos da pressão de radiação solar e do arrasto atmosférico. São efeitos pequenos, mas que somados ao longo do tempo causam alterações no movimento orbital. Por isto, os satélites precisam ser equipados com dispositivos para corrigir sua órbita, que têm a forma de pequenos motores foguete.

A altitude baixa ou alta é definida em função da missão do satélite. Por exemplo, um satélite de comunicação como os que são utilizados para transmissão de TV precisam ser posicionados a grande altitude. É necessário notar que quanto mais alto estiver, mais longa será a trajetória do satélite em torno da Terra. Quanto maior for a altitude, maior será também o tempo para dar uma volta ao redor da Terra. Existe uma altitude na qual o período orbital do satélite é de exatamente 24 horas. Esta órbita está a aproximadamente 36 mil km de altitude e é chamada de geoestacionária. Como nesta altitude o período orbital e de rotação da Terra são os mesmos, o satélite estará sempre na mesma posição em relação à Terra. Estas órbitas são apropriadas para satélites de comunicação, pois, podemos manter uma antena sempre apontada para uma mesma região da Terra.

Órbitas mais baixas são apropriadas para satélites de exploração científica, de engenharia e de observação da Terra. As órbitas podem ainda ser do tipo equatorial, inclinadas entre o equador e os pólos, ou polares. De fato, as órbitas polares são órbitas inclinadas de aproximadamente 90 graus em relação ao equador. O tipo de órbita, não apenas em altitude mas também em inclinação, depende da missão do satélite. A Figura 2 apresenta os tipos de órbita mais utilizados.

Existe um outro de tipo de movimento do satélite que se refere ao próprio movimento em torno do seu centro de massa. Considere a Terra girando no espaço. A translação em torno do Sol é o seu movimento orbital. O

movimento de rotação da Terra refere-se ao próprio movimento em torno do seu centro de massa. O movimento angular do satélite em torno do seu centro de massa define seu movimento de atitude, ou seja, como o satélite se comporta no espaço em relação ao seu centro de massa.

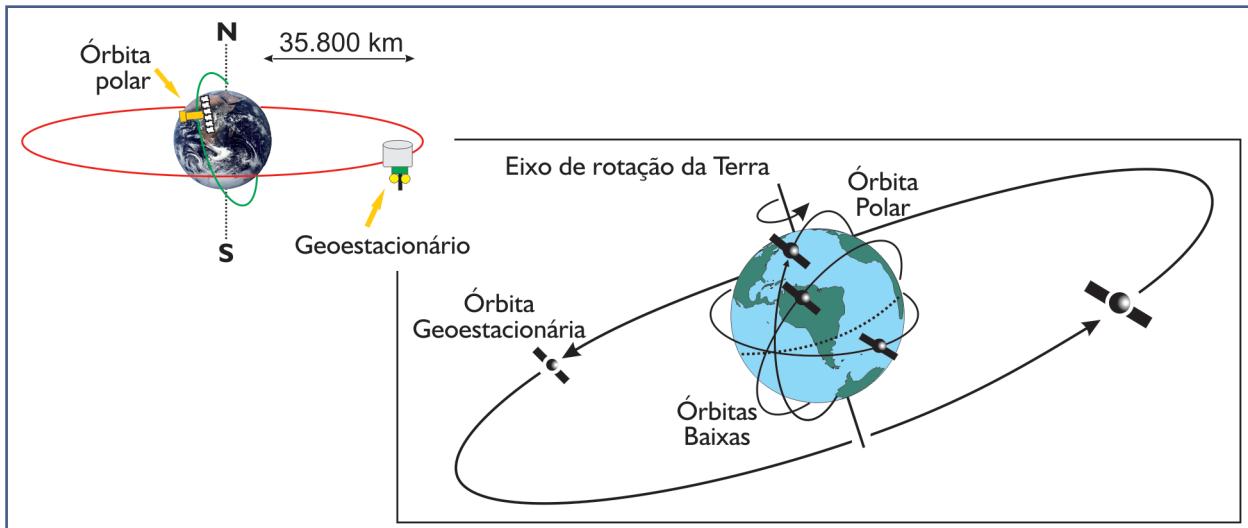


Figura 2. As órbitas mais utilizadas pelos satélites atuais: equatorial baixa (*Low Earth Orbit*); polar (*Polar Orbit*) e; geoestacionária (*Geostationary Orbit*).
Fonte: Souza (2005).

O movimento de atitude precisa ser controlado para que o satélite comporte-se de forma a satisfazer os requisitos da missão para a qual ele foi projetado. Por exemplo, se a missão requer uma antena apontada para a Terra, então sua atitude deve ser controlada de tal forma que a antena fique apontada para ela. Se uma face do satélite deve ficar apontada para o Sol no intuito, por exemplo, de captar energia solar, então, deve-se controlar o movimento de atitude do satélite de tal forma que aquele requisito seja satisfeito.

A necessidade de controlar a atitude do satélite deu origem a uma área de estudo chamada Dinâmica e Controle de Atitude de Satélites. Existem vários procedimentos para se fazer o controle de atitude dos satélites. Por exemplo, pode-se estabilizar o satélite por rotação de tal forma a manter um eixo fixo no espaço. Trata-se de algo análogo ao que ocorre com o pião. Em alta rotação, mesmo na superfície da Terra, o pião “dorme” estável, em torno do seu eixo de rotação. O pião perde a estabilidade por causa dos atritos com o ar e, da sua ponta com o solo, sendo esta o suporte para seu movimento rotacional. No espaço, o atrito do ar é quase inexistente. Por outro lado, o satélite no espaço não precisa apoiar-se em uma superfície. Por isto ele gira em torno do seu centro de massa da mesma forma que a Terra gira em torno de si mesma, suspensa no espaço. Esta solução foi adotada pelos satélites brasileiros SCD-1 e SCD-2, que foram colocados em órbita girando como um pião. O SCD-1 foi estabilizado por rotação a 120 rpm. Após 10 anos no espaço sua rotação caiu para aproximadamente 50 rpm, ainda dentro das especificações para o seu funcionamento. O SCD-2 foi estabilizado a 30 rpm.

Muitas missões requerem controle da atitude do satélite em três eixos ou seja, existem duas ou três direções que precisam ser controladas. Um exemplo disto, seria o satélite apontar uma face para a Terra enquanto mantém

a outra apontada na direção da velocidade. Nestes casos, o sistema para controlar o satélite pode requerer pequenos motores ou jatos de gás para gerar empuxos, bobinas magnéticas para produzir torques (algo semelhante ao motor de arranque dos carros) e rodas de reação. Estes equipamentos são todos chamados de “atuadores”.

Por exemplo, as rodas de reação são pequenos volantes equipados com um motor elétrico. Quando o motor acelera o volante em um dado sentido, o resto do satélite é acelerado em sentido contrário. A Figura 3 mostra uma roda de reação, juntamente com uma descrição do fenômeno.

Todos os atiradores utilizam o princípio da ação e reação de Newton. As bobinas magnéticas combinam propriedades magnéticas e elétricas. Neste caso o satélite requer energia elétrica para gerar torques e girar até as posições desejadas. Rodas de reação também são utilizadas com esta finalidade.

Existe um aspecto associado à Dinâmica de Satélites que difere das situações em Terra. As forças e torques aplicados ao corpo do satélite ocorrem em ambiente de aparente ausência de gravidade. Não existe suporte para o corpo no espaço. Por isto, se dois corpos estão conectados, o esforço sobre um corpo se transfere para o outro. Este fato ocorre, como exposto acima, com as rodas de reação, que giram quando o satélite sofre um torque externo, absorvendo, assim, o efeito indesejado. Por outro lado, estas rodas podem ser intencionalmente aceleradas para fazer o satélite girar no sentido contrário (Figura 3).

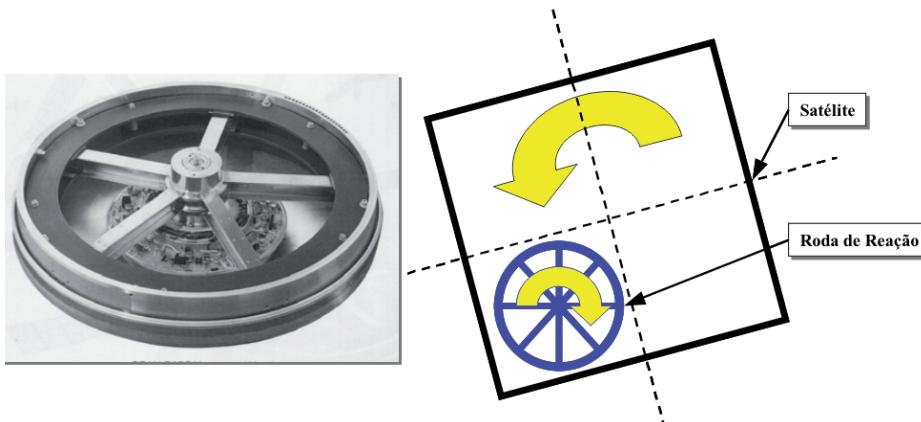


Figura 3. Exemplo de Roda de Reação e de seu princípio de funcionamento. As flechas indicam os sentidos opostos em que giram a roda de reação e o satélite quando a roda é acelerada no sentido horário.
Fonte: Souza (2003).

Subsistemas de satélites²

Uma missão utilizando satélites envolve várias partes. A mais notável é a que é colocada no espaço. Cada uma delas é geralmente designada “segmento”. Dentre os vários segmentos existentes, os mais conhecidos são:

- **Segmento Espacial:** é a parte que é colocada em órbita, também designada satélite.
- **Segmento Lançador:** é a parte utilizada para a colocação do satélite em órbita, também designada foguete.
- **Segmento Solo:** é a parte encarregada da supervisão do funcionamento do satélite, de seu controle e da recepção dos dados de suas cargas úteis.

² Adaptado de Souza, 2003

O Segmento Espacial, ou satélite, é normalmente dividido em duas grandes partes. A primeira delas é designada Plataforma e contém todos os equipamentos necessários para o funcionamento do satélite. A segunda parte é denominada Carga Útil e é constituída pelos equipamentos requeridos para o cumprimento da missão dos satélites. A Figura 4 apresenta um exemplo de satélite integrado ao último estágio de seu lançador. Na figura é possível identificar de forma clara a Plataforma e as Cargas Úteis do satélite. Na Plataforma a figura indica os vários subsistemas que constituem um satélite convencional.

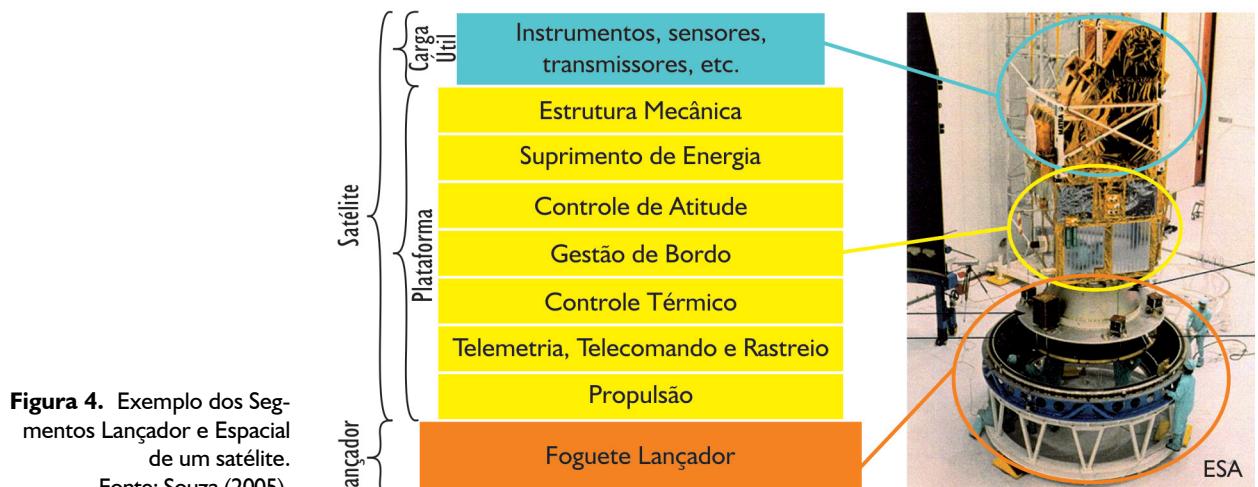


Figura 4. Exemplo dos Segmentos Lançador e Espacial de um satélite.
Fonte: Souza (2005).

Os equipamentos que formam a Plataforma dos satélites são normalmente organizados em subsistemas. Assim é feito para sistematizar o trabalho de especificação, compras, projeto, revisão, montagem e testes, dividindo-o em áreas de competência. Os subsistemas usualmente encontrados nos satélites convencionais são os seguintes:

1. Controle de Atitude (*Attitude Determination and Control* ou *Attitude Control System*)

Tem por objetivo controlar o apontamento do satélite no espaço.

Equipamentos utilizados: rodas de reação ou volantes de inércia; bobinas magnéticas; sensores de Sol, de Terra e estrelas; magnetômetros; giroscópios.

2. Suprimento de Energia (*Electrical Power and Distribution*)

Tem por objetivo fornecer a energia necessária aos diversos subsistemas.

Equipamentos utilizados: painéis solares e seus diversos acessórios; conversores; baterias. Os painéis solares são necessários já que devido à longa duração das missões não seria possível suprir as necessidades dos satélites apenas com baterias previamente carregadas em Terra.

3. Telecomunicação de Serviço (*Telemetry, Tracking and Command*)

Tem por objetivo enviar e receber os dados que permitem o acompanhamento do funcionamento e o comando do satélite.

Equipamentos utilizados: transmissores; receptores; antenas.

4. Gestão de Bordo (*Command and Data Handling*)

Tem por objetivo processar as informações recebidas da ou a serem enviadas para a Terra, assim como as informações internas ao satélite.

Equipamentos utilizados: computador(es) de bordo e seu *software*.

5. Estrutura e Mecanismos (*Structures and Mechanisms*)

Tem por objetivo fornecer o suporte mecânico e de movimento para as partes do satélite, bem como oferecer proteção contra as vibrações de lançamento e contra a radiação em órbita.

Equipamentos utilizados: estrutura primária e estruturas secundárias; mecanismos de abertura de painéis solares e de separação do lançador; mecanismos de abertura de antenas; dispositivos pirotécnicos; mecanismos de extensão e de alinhamento; suspensões com amortecedores.

6. Controle Térmico (*Thermal Control*)

Tem por objetivo manter os equipamentos dentro de suas faixas nominais de temperatura.

Equipamentos utilizados: aquecedores; tubos de calor (*heat-pipes*); isoladores; pinturas; radiadores.

7. Propulsão (*Propulsion*)

Tem por objetivo fornecer o empuxo necessário para o controle da atitude e da órbita do satélite.

Equipamentos utilizados: bocais ou tubeiras; válvulas; reservatórios; tubulações.

A Figura 5 mostra de forma diagramática os sete subsistemas acima listados. Um exame detalhado das Figuras 14 e 23 também permite a identificação da maioria dos equipamentos e subsistemas acima referidos.

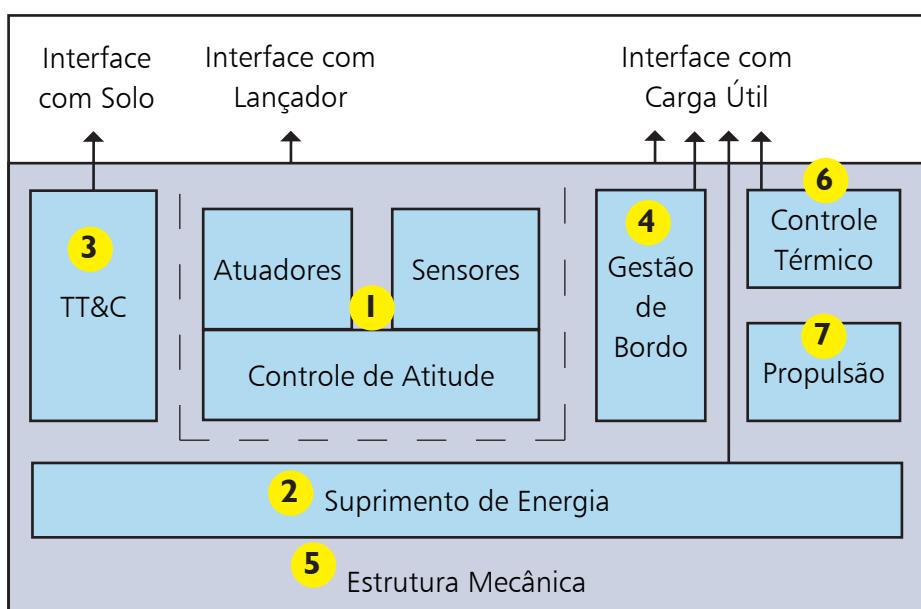


Figura 5. Subsistemas da plataforma de um satélite típico.
Fonte: Souza (2003).

A Carga Útil dos satélites é constituída por um ou mais equipamentos, tais como sensores, transmissores, antenas. São eles que cumprem as missões para as quais os satélites são projetados. As missões mais comumente encontradas são as seguintes:

- **Científicas:** Astronomia e Astrofísica; Geofísica Espacial; Planetologia; Ciências da Terra, Atmosfera e Clima.
- **Operacionais:** Observação da Terra; Coleta de Dados; Comunicações; Meteorologia; Navegação; Alarme, Busca e Localização; Militar.
- **Tecnológicas:** Uso da Microgravidade; Validação de novos equipamentos e inovações tecnológicas.

O desenvolvimento e a utilização de um satélite seguem um processo rigoroso e detalhado, o qual é normalmente dividido nas seguintes fases:

1. Especificação: estabelece como o satélite deve ser e o que deve fazer.
2. Projeto Preliminar: nesta fase cria-se uma concepção inicial para atender às especificações.
3. Projeto Detalhado: é elaborado com base no Projeto Preliminar.
4. Fabricação: nesta fase tanto o satélite quanto modelos para testes são fabricados.
5. Montagem: fase em que as várias partes são unidas.
6. Testes: fase em que é verificado se o satélite funciona corretamente e se resiste ao ambiente espacial.
7. Lançamento: fase de colocação em órbita por um foguete.
8. Utilização: a fase mais longa, aquela em que o satélite realiza o serviço para o qual foi projetado.
9. Descarte: fase em que ele é removido de sua órbita e substituído.

As várias organizações que participam do desenvolvimento de um satélite atuam simultaneamente em uma ou mais das fases acima. No caso brasileiro, normalmente a fase 1 é desenvolvida em organizações governamentais, como é o caso do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e, as fases 2, 3 e 4 são desenvolvidas por empresas contratadas. As fases 5 e 6 são desenvolvidas no Laboratório de Integração e Testes (LIT), por funcionários do INPE e das empresas. A fase 7 é executada pela organização responsável pelo lançamento (nacional ou estrangeira), juntamente com funcionários do INPE e das empresas contratadas. A fase 8 fica sob a responsabilidade do INPE. No Brasil ainda não tivemos a oportunidade de ativar uma fase 9.



PANORAMA E HISTÓRIA DAS ATIVIDADES ESPACIAIS

Introdução³

Na imaginação humana a conquista do espaço exterior deve ter começado ainda na pré-história, com a contemplação do céu.

Dezenas de milhares de anos mais tarde, já na Antigüidade histórica, alguns povos civilizados aprenderam a descrever e prever com admirável precisão o movimento aparente dos astros na abóbada celeste.

Entretanto, até a Idade Moderna, o Universo permaneceu inteiramente misterioso. Os bandeirantes já tinham desbravado o interior do Brasil quando, finalmente, na Europa, foram descobertas leis físicas capazes de explicar os movimentos dos corpos celestes (entre os quais a própria Terra). Ficou demonstrado que os objetos materiais com que convivemos na superfície da Terra estão sujeitos a essas mesmas leis.

A partir dessa época o conhecimento científico da natureza vem se acumulando. O espaço exterior deixou de ser inacessível. Todavia, a cada nova descoberta a humanidade constata que o mistério do universo é maior e mais fascinante do que antes se imaginava.

Há trezentos anos, no fim do século XVII, um hipotético discípulo de Isaac Newton já teria conhecimentos de física suficientes para analisar a dinâmica de vôo de uma nave espacial. Poderia até fazer uma estimativa da propulsão necessária ao lançamento. Seus cálculos demonstrariam que construir uma tal nave e lançá-la ao espaço estava completamente fora do alcance da tecnologia então disponível. De fato, não é nada fácil acelerar um objeto às enormes velocidades que possibilitam iniciar um vôo espacial a partir da superfície da Terra. A propósito, naquela época só faria sentido explorar o espaço com naves tripuladas, as quais pesariam toneladas e teriam de ser capazes de trazer os astronautas, vivos, de volta para casa. Não havia outra forma de tirar proveito da experiência. As comunicações pelo rádio só seriam inventadas duzentos anos mais tarde, no fim do século

³ Adaptado de Carleial, 1999.

XIX, e equipamentos automáticos capazes de substituir o ser humano na exploração do espaço só se tornariam realidade em pleno século XX. Por tudo isso, até 1957 as viagens espaciais foram apenas um sonho que se expressava na ficção literária.

As origens⁴

Entre os pioneiros de estudos e experimentos em astronáutica merecem destaque Konstantin E. Tsiolkovsky, Robert H. Goddard e Hermann Oberth. Trabalhando independentemente, e quase sempre com poucos recursos, eles resolveram complexos problemas de engenharia e demonstraram que foguetes de propulsão química poderiam um dia levar cargas úteis ao espaço. Em geral seus trabalhos foram mal compreendidos e receberam pouco apoio. A possibilidade concreta de uso militar dos foguetes é que levou os governos da Alemanha, da antiga URSS e dos EUA, a partir de um dado momento, a apreciar e aproveitar os resultados obtidos por esses pioneiros. Durante a Segunda Guerra Mundial a Alemanha investiu no desenvolvimento de foguetes de propelentes líquidos para transportar “bombas voadoras”. Até o fim da guerra Oberth trabalhou com Wernher Von Braun e uma equipe de especialistas na base alemã de Peenemünde. Depois da guerra, os EUA e a URSS aproveitaram a experiência dos alemães em seus programas de armamentos, cujos foguetes oportunamente também se prestariam à exploração do espaço.

O lançamento do primeiro satélite artificial da Terra, o Sputnik 1, em 4 de outubro de 1957, marca o início da Era Espacial. Era uma esfera de alumínio de 58 cm de diâmetro e 84 kg de massa, com instrumentos rudimentares e um transmissor de rádio. Entrou em órbita elíptica entre 230 e 942 km de altura. Um mês depois a antiga URSS pôs em órbita o segundo Sputnik, de meia tonelada, com uma cadel a bordo, usando um foguete com empuxo de centenas de toneladas. O primeiro satélite lançado pelos EUA com sucesso foi o pequeno Explorer 1, de 8 kg, em 31 de janeiro de 1958. A vida útil desses primeiros satélites em geral não passava de poucas semanas.

A URSS atingiu a Lua com uma sonda de impacto (Luna 2) em setembro de 1959. No mês seguinte, com a Luna 3, obteve imagens da face da Lua que nunca é vista da Terra. Em 1960 os EUA lançaram um satélite meteorológico (Tiros 1), um satélite de navegação (Transit 1B) e um satélite passivo de comunicações (Echo 1). Este último era um enorme balão esférico inflado no espaço para refletir as ondas de rádio. Ao final aquele ano já tinham entrado em órbita 44 satélites. Impulsionada pela Guerra Fria, a corrida espacial entre as duas superpotências começava a gerar resultados científicos importantes, como a descoberta dos cinturões de radiação que circundam nosso planeta.

⁴ Adaptado de Carleial, 1999.

A evolução⁵

Por alguns anos a antiga URSS e os EUA foram os únicos países capazes de explorar o espaço. Aos demais faltava a capacidade de lançamento. O desenvolvimento de grandes foguetes guiados, custoso e incerto, estava então intimamente ligado à necessidade de produzir mísseis balísticos de longo alcance. A URSS, por esforço próprio, inspirada na tradição de Tsiolkovsky e aproveitando alguns técnicos e materiais capturados da Alemanha em 1945, foi a primeira a produzir foguetes de grande empuxo, que lhe deram clara vantagem até meados da década de sessenta. Os EUA dispunham de amplos recursos econômicos e tecnológicos, tinham experiência própria graças ao trabalho de Goddard, e contavam com os melhores especialistas de Peenemünde. Entretanto, em boa parte devido a problemas organizacionais, ficaram a reboque da URSS no início da corrida espacial. Até o lançamento do Sputnik 1 a perspectiva da exploração do espaço não empolgara a opinião pública nos EUA, onde o assunto era visto em setores do governo como uma disputa entre grupos rivais do Exército, Marinha e Força Aérea.

O impacto causado pelo sucesso dos soviéticos levou os EUA a uma reação rápida e exemplar: houve uma autocrítica implacável, cresceu a demanda popular por resultados imediatos e o governo entendeu que precisava se reorganizar. O “efeito Sputnik”, além de diligenciar a criação da NASA, agência espacial constituída com base nos centros de pesquisa e equipes técnicas já disponíveis, desencadeou um processo de mudanças no sistema educacional. Em todo o país houve um esforço para ampliar e melhorar o ensino de matemática e ciências nas escolas. A corrida espacial marcou presença até nos jardins-de-infância norte-americanos, onde muitas crianças aprenderam primeiro a contar na ordem regressiva, como nos lançamentos: 10, 9, 8...

Quais outros países tinham condições de tornar-se exploradores do espaço a partir de 1960? A Alemanha e o Japão estavam na situação peculiar de potências derrotadas na Segunda Guerra Mundial, com restrições externas ou auto-impostas a tudo que pudesse se relacionar com armamentos. Por isso, o desenvolvimento da indústria espacial nesses países foi mais tardio em determinados setores o que não impediu que ambos chegassem à vanguarda, onde seguramente se encontram hoje.

A Grã-Bretanha tinha recursos técnicos e outras condições favoráveis, mas adotou uma linha discreta em seus projetos espaciais, apoiando-se mais na Aliança Atlântica (com os Estados Unidos), como fez também na área nuclear. Pôs em órbita um pequeno satélite em 1971.

A França, ao contrário, além de participar dos planos e programas internacionais europeus, desde cedo mostrou-se determinada a desenvolver capacidade própria. Em 1962 estabeleceu sua agência espacial, o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES), assegurando investimentos para pesquisas, desenvolvimento e industrialização. De 1965 a 1971 a França lançou ao

⁵ Adaptado de Carleial, 1999.

espaço nove pequenos satélites tecnológicos e científicos, dois com foguetes da NASA e sete com lançadores próprios. Em 1968 pôs em operação uma base de lançamentos na Guiana Francesa.

A Itália e os outros países da Europa Ocidental só deram impulso significativo à indústria espacial quando se consolidou a Comunidade Européia e formou-se a Agência Espacial Européia (ESA).

O Canadá também desenvolveu a indústria de satélites, contando com outros países para fazer os lançamentos.

Na Ásia, além do Japão, China e mais tarde a Índia, apesar do atraso econômico e do isolamento, empreenderam programas espaciais autônomos. A China desenvolveu uma família de foguetes e pôs em órbita seu primeiro artefato em 1970. Desde então lançou com sucesso dezenas de satélites, muitos dos quais recuperáveis após manobra de reentrada na atmosfera. A Índia produziu satélites para aplicações científicas, tecnológicas e utilitárias, que foram lançados a partir de 1975 por foguetes estrangeiros e indianos.

Nos últimos vinte anos diversos outros países começaram a participar da exploração do espaço, entre eles o Brasil. A competição entre países cedeu lugar à cooperação internacional, exceto nas tecnologias com aplicação militar e à competição entre grupos industriais. O uso de sistemas de satélites para aplicações rentáveis, das quais as principais são as associadas às telecomunicações, teve enorme expansão, com investimentos de bilhões de dólares.

Em abril de 1961, meros três anos e meio depois do Sputnik 1, a URSS noticiou o vôo orbital de Yuri A. Gagarin a bordo da Vostok 1, abrindo uma nova fase da conquista espacial, fascinante e dispendiosa, que culminaria com o pouso de astronautas americanos na Lua. No início, astronautas solitários deram umas poucas voltas em torno da Terra a bordo das naves Vostok e Mercury. Depois voaram em grupos de dois ou três, cumprindo missões cada vez mais longas.

Em 1961, John Kennedy, então presidente americano, anunciou a meta nacional de explorar a Lua com astronautas antes do final da década. Em poucos anos todas as etapas necessárias a esse feito extraordinário foram planejadas e levadas a cabo com pleno sucesso. No Natal de 1968 três astronautas navegaram em torno da Lua a bordo da Apollo 8. Finalmente, a 20 de julho de 1969, Neil A. Armstrong e Edwin E. Aldrin Jr., da Apollo 11, pousaram no *Mare Tranquillitatis* (Mar da Tranqüilidade). O programa terminou com a missão da Apollo 17, em 1972, e desde então até hoje ninguém mais se afastou das cercanias da Terra!

Os soviéticos nunca puseram em prática seus planos de enviar naves tripuladas à Lua, mas coletaram amostras de rochas lunares com o módulo de regresso da nave automática Luna 16 (1970).

A contribuição dos astronautas à pesquisa científica do espaço é modesta, quando comparada à propiciada pelas naves automáticas, e sua presença

nos satélites comerciais é dispensável. Não obstante, na visão do cidadão comum, sem eles a exploração espacial perderia grande parte de sua razão de ser. Talvez por isso, mais do que por alguma visão estratégica de colonização do espaço exterior no curto prazo, os investimentos dos EUA e da antiga URSS com naves e estações tripuladas tornaram-se desproporcionalmente vultosos durante a Guerra Fria. Consequências dessa política persistem até hoje. O Ônibus Espacial (*Space Shuttle*) e a Estação Espacial Internacional resistem a todas as críticas e continuam com a parte do leão nos orçamentos da NASA.

Por outro lado, independentemente da relativa decadência de seu programa espacial na área de satélites, a Rússia mantém o seu programa de vôos tripulados, sendo inclusive a nação pioneira na oferta de oportunidades de vôo para a recém criada classe dos “turistas espaciais”.

Enquanto isso, ao longo de mais de três décadas prosseguiu a exploração da Lua, dos planetas e do espaço interplanetário por sondas automáticas cada vez mais sofisticadas, e a Terra foi circundada por uma multidão de satélites artificiais.

A exploração do Sistema Solar⁶

A exploração sistemática do Sistema Solar por naves não-tripuladas é sem dúvida uma das realizações científicas mais notáveis da humanidade. Os primeiros astros visitados foram a Lua e os dois planetas vizinhos, Vênus e Marte. Após as missões pioneiras da URSS à Lua, já citadas, os EUA obtiveram dados e imagens da superfície lunar com as sondas da série Ranger. A URSS conseguiu pousar a Luna 9 no início de 1966, e logo em seguida pôs outra sonda em órbita da Lua. Meses depois, os EUA também conseguiram pousar com sucesso na Lua a primeira nave da série Surveyor e imagearam toda a superfície com os satélites da série Lunar Orbiter.

As primeiras missões interplanetárias foram dirigidas a Vênus, pelos soviéticos, que em 1965 fizeram a nave Venera 3 colidir com o planeta. Em 1967 a Venera 5 transmitiu dados enquanto mergulhava nas altíssimas temperaturas e pressões da atmosfera venusiana. O primeiro pouso com sucesso só foi conseguido em 1970 (Venera 7).

Os EUA deram mais prioridade a Marte. Em 1965 a sonda Mariner 4 passou perto do “planeta vermelho” e transmitiu imagens de algumas áreas. Seis anos depois o orbitador marciano Mariner 9 obteve dados científicos muito valiosos e fez imagens de toda a superfície, que se revelou variada e interessantíssima. A URSS também aproveitou a mesma época favorável e fez chegar a Marte no final de 1971 duas sondas orbitais de grande porte, das quais se separaram módulos que pousaram com sucesso na superfície. A exploração desses planetas vizinhos prosseguiu com missões mais com-

⁶ Adaptado de Carleial, 1999.

plexas. As naves Viking (1976) procuraram e não encontraram processos bioquímicos no solo marciano. Bem mais recentemente a nave Magalhães (*Magellan*), em órbita de Vênus, mapeou por radar toda a superfície do planeta. Também houve grandes fracassos, como a perda de um par de naves soviéticas enviadas a Marte (pelo menos uma delas vítima de falha humana no envio de telecomandos) e a mais recente perda do Mars Orbiter, dos EUA, que custara centenas de milhões de dólares.

Atualmente o Mars Global Surveyor, um novo observador orbital, transmite imagens de alta resolução da superfície marciana, onde pousou com sucesso o pequeno veículo Pathfinder. Este objeto veicular foi sucedido pelo par de veículos controlados remotamente Spirit e Opportunity, que pousaram em Marte no início de 2004.

O planeta Mercúrio só foi visitado em duas passagens da sonda imageadora Mariner 10, lançada em 1973. Os planetas gigantes, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, bem como os satélites desses planetas, receberam bastante atenção desde o final da década de setenta, por parte de naves norte-americanas das séries *Pioneer* e *Voyager*, que fizeram muitas descobertas científicas e transmitiram imagens impressionantes. A nave Galileo partiu com grande atraso (em 1989) para uma nova fase da exploração de Júpiter e foi prejudicada pela falha de sua antena principal. Não obstante, a longa missão teve sucesso. Em 1995 transmitiu dados captados por um módulo que se separou do corpo principal da nave e mergulhou na atmosfera do planeta.

Mais recentemente, a nave Cassini-Huygens, lançada em 1997 em empreendimento conjunto NASA/ESA, chegou a Saturno e ao seu satélite Titã em 2004. Esta última foi a mais complexa sonda interplanetária já construída.

O próprio espaço interplanetário, povoado de partículas, radiação e campos magnéticos, tem sido esquadrinhado por sondas espaciais. Telescópios e sensores foram lançados ao espaço para observar sinais provenientes de todo o Universo, especialmente nas faixas de radiação às quais a atmosfera terrestre não é permeável. A nave Ulysses foi posta em órbita em torno do Sol em um plano que lhe permite observar as regiões polares da nossa estrela. Outras missões já foram realizadas ou estão planejadas para explorar cometas e asteróides. Algumas delas foram empreendidas pelos europeus (caso da sonda Giotto, que se aproximou do cometa de Halley em 1986) e pelos japoneses.

Mais recentemente, em julho de 2005, a sonda americana Deep Impact foi capaz de proporcionar a primeira colisão intencional de um veículo fabricado pelo homem e um cometa.

As estações espaciais

Nesta seção os temas serão desenvolvidos na forma de perguntas e respostas (fatos e datas extraídos de NASA, January 1997 e June 1997).

Quando e onde nasceu a idéia de uma Estação Espacial?

As origens datam de uma época na qual ciência, tecnologia e ficção (científica) se confundiam. Aparentemente a primeira referência data de 1869, quando o romancista americano Edward Everett Hale imaginou um satélite que teria como missão auxiliar a navegação em alto mar (o que o sistema GPS faz hoje).

Em 1903 o russo Konstantin Tsiolkovsky publicou um trabalho de ficção, com forte base científica, o qual previu a existência de estações espaciais em órbita, bem como missões interplanetárias. O termo “estação espacial” foi cunhado pelo romeno Hermann Oberth em 1923, que a concebeu com a forma popular de um toróide posto em lenta rotação, e já lhe atribuiu objetivo de entreposto para futuras missões para a Lua e Marte. Em 1928 o austríaco Herman Noordung apresentou os primeiros esquemas para uma possível estação, já considerando o lançamento por meio de foguetes e sua divisão em módulos com diferentes funções.

Os passos seguintes foram dados pelo alemão Wernher von Braun, que em 1946 apresentou aos militares americanos planos para uma estação espacial. Após aperfeiçoamentos, ele os publicou em 1952 na forma de artigos e documentários com planos preliminares que incluíam dimensões e órbita. Neles a estação mantinha a arquitetura toroidal como forma de garantir um ambiente de gravidade artificial. A ela ele atribui as funções de observação da Terra, laboratório, observatório astronômico e entreposto para missões destinadas à Lua e a Marte, basicamente as mesmas funções atribuídas à Estação Espacial Internacional (*International Space Station – ISS*) dos dias atuais. Como se não bastasse, ele também indicou que ela seria abastecida por uma nave reutilizável dotada de asas, antevendo o desenvolvimento do Ônibus Espacial americano.

Quando de fato tudo começou, e quais foram as motivações?

Com o lançamento do satélite Sputnik 1 pelos soviéticos em 1957, a competição da Guerra Fria se estendeu ao espaço. Os americanos responderam com a criação da NASA em 1958 e iniciaram o Projeto Mercury em 1959, já visando a colocação de um homem no espaço. Nesta época os dois lados acreditavam que uma estação espacial seria o passo seguinte após o domínio da tecnologia que permitiria alcançar a órbita da Terra com uma nave tripulada. Os soviéticos foram novamente pioneiros ao colocar o primeiro homem em órbita em 1961, e já no ano seguinte tinham planos para uma estação espacial semelhante ao que seria a MIR. Foram igualados pelos americanos poucos meses depois e estes decidiram lançar um desafio ainda maior que o da colocação de uma estação tripulada em órbita, que foi a de uma missão tripulada para a Lua. Nascia o programa Apollo e o desafio lançado redirecionaria as atividades das duas nações, adiando os planos das estações espaciais. No entanto, já em 1964 a NASA planejava a era pós-Apollo, na forma de sua primeira estação, o Skylab que seria lançado em

1973. Pouco tempo depois, em 1968, também concluíram que precisavam de uma nave reutilizável para alcançar a órbita da Terra, que deu origem ao programa do Ônibus Espacial, que adiaria os planos de uma estação espacial americana permanente uma vez mais.

Também em 1964 os soviéticos iniciaram o desenvolvimento daquela que seria a primeira estação espacial da história, a Salyut 1, lançada em 1971, resultado do redirecionamento de seus esforços assim que ficou claro que não conseguiriam bater os americanos na corrida pela Lua. Até aquela época a competição entre as duas nações era a tônica de seus programas espaciais tripulados.

O que foi realizado pela União Soviética/Rússia até hoje?

Entre 1971 e 2001, a União Soviética, depois a Rússia apenas, desenvolveu lançou e operou três gerações de estações espaciais. A primeira geração incluiu as naves Salyut 1 a 5 e durou de 1971 até 1977. A segunda incluiu as Salyut 6 e 7 de 1977 a 1991. A terceira geração, a primeira de estações permanentes, foi a nave MIR, que teve sua montagem iniciada em 1986 e que foi operada até 2001, ano de sua retirada de órbita. Com a sua entrada no programa da ISS, os esforços para o desenvolvimento de uma estação sucessora da MIR foram redirecionados para o desenvolvimento da parte russa da ISS, derivada dos planos originais daquela que seria a MIR 2, que acabou não se realizando.

O que foi realizado pelos Estados Unidos até hoje?

Com o lançamento da nave Skylab em 1973 teve início um ciclo de dois anos no qual os americanos pela primeira vez operaram uma estação espacial. Encerrada a operação da Skylab, os esforços americanos voltaram-se para o desenvolvimento do Ônibus Espacial, que voou pela primeira vez em 1981, quando então os planos para uma nova estação espacial foram retomados.

Em 1982 foi proposto um programa a ser desenvolvido em colaboração internacional, objetivo confirmado em 1984 pelo presidente americano, que autorizou a NASA a buscar parceiros entre os aliados americanos. Em 1985 o Japão, a ESA e o Canadá já estavam engajados no programa. O período até 1993 viu uma série de revisões do projeto, a mais importante devido à entrada da Rússia em 1992. Entre 1993 e 1998 o programa entrou em uma fase mais estável sob o ponto de vista técnico, que culminou com o lançamento da primeira parte, um módulo russo de nome Zarya, em 1998.

A estabilidade do projeto durou até 2001, quando da publicação do "*Report by the International Space Station (ISS) Management and Cost Evaluation (IMCE) Task Force to the NASA Advisory Council, November 1, 2001*". Como consequência, devido aos custos estimados, a NASA foi obrigada a cancelar ou suspender o desenvolvimento de alguns módulos essenciais para a ampliação da tripulação para 6 ou 7 membros. Com isso a ISS foi reconfigurada com vistas a manter apenas três tripulantes, mas com planos para futura ampliação.

Em 2003 o acidente com a nave americana Columbia levou a uma suspensão das atividades de montagem da ISS que perdurou até meados de 2006, atrasan-

do ainda mais o seu já dilatado cronograma de montagem. O plano atual visa completar a montagem da ISS até o final de 2010, quando devem ser encerradas as operações dos Ônibus Espaciais. A configuração final da ISS deverá ser mais modesta que a inicialmente prevista, particularmente em razão da diminuição de uma série de módulos que seriam fornecidos pela Agência Espacial Russa.

Qual foi o processo que levou da rivalidade à cooperação entre os Estados Unidos e a Rússia na área espacial?

A transição da rivalidade aberta e exacerbada competição até a cooperação entre os Estados Unidos e a antiga União Soviética seguiu um longo caminho, que teve início bem antes da queda do muro de Berlim em 1990, embora este fato tenha sido determinante para a mudança no relacionamento entre as duas únicas potências espaciais da época.

A primeira iniciativa de colaboração deu-se ainda durante a vigência do Programa Apollo, na forma da missão conjunta Apollo-Soyus, realizada em 1975. Embora ela tenha sido um sucesso técnico e de propaganda, o clima político entre as duas nações não permitiu que a colaboração evoluísse.

Somente em 1992 foi possível a retomada das atividades conjuntas que, desta vez, levaram a um entrelaçamento definitivo entre os dois programas espaciais. Esta nova fase teve início na forma das missões conjuntas Shuttle-MIR, também denominada Fase 1 da ISS, que se estenderam de 1994 a 1998, durante as quais os Ônibus Espaciais americanos atracaram-se 11 vezes à estação MIR e 7 tripulantes americanos nela permaneceram por quase 33 meses. Esta experiência foi de fundamental importância por permitir por um lado o amadurecimento americano em operações espaciais de longa duração, e por outro, a integração técnica, científica, gerencial e cultural entre as agências espaciais russa e americana, base para a entrada definitiva da Rússia no Programa ISS. Com isso estavam criadas as condições necessárias para a definitiva integração dos dois programas tripulados, que culminou com o lançamento em novembro e dezembro de 1998 dos dois primeiros módulos, um russo, adquirido pela NASA, e um americano que, quando acoplados, deram início à construção do complexo da ISS.

As razões que permitiram esta aproximação podem ser assim resumidas: (a) os programas espaciais russo e americano já não mais contavam com o apoio da opinião pública, que por muito tempo justificava todo e qualquer gasto; (b) a rivalidade militar havia sido atenuada devido à crise econômica russa; (c) com o final do regime comunista, a rivalidade política deu lugar a uma busca por cooperação; (d) a preocupação americana de que as tecnologias para o desenvolvimento de foguetes e sistemas espaciais fossem repassadas às nações não aliadas por técnicos, cientistas e empresas russas pressionados pela crise econômica.

Como resultado, as duas nações, por meio de suas agências espaciais, reconfiguraram a ISS de forma a incorporar partes que a Rússia pretendia desenvolver para a estação espacial que sucederia a MIR. Isto deu origem

ao plano para o segmento russo da ISS, ainda não desenvolvido além dos três primeiros módulos. Também gerou uma série de encomendas de equipamentos por parte da NASA, o que contribuiu para manter uma demanda mínima que preservasse a infra-estrutura produtiva do programa espacial russo durante os piores anos de sua crise econômica.

Hoje o relacionamento entre as duas agências espaciais é cordial o bastante, embora não isento de conflitos, para contornar os recorrentes problemas impostos pela carência de recursos que aflige os dois parceiros. As dificuldades foram exacerbadas após 2001, com os cortes que a NASA teve que impor ao programa por ordem do governo americano, e tornaram-se ainda mais agudas depois do acidente com a nave Columbia, que tornou os americanos inteiramente dependentes dos russos para o acesso e a manutenção da ISS por um período ainda incerto de tempo.



PANORAMA E HISTÓRICO DAS ATIVIDADES ESPACIAIS NO BRASIL⁷

O Brasil oficializou seu interesse pela exploração do espaço em 1961, com a criação da GOCNAE (para siglas, ver Apêndice A), precursora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Desde o início, esse órgão público federal cooperou com agências espaciais estrangeiras e instalou estações para receber e processar dados de satélites científicos e meteorológicos. Com o tempo, o Brasil tornou-se um dos maiores usuários de imagens da Terra, transmitidas por satélites, e desenvolveu técnicas próprias para sua utilização. Através da então empresa estatal Embratel, o país também foi um dos primeiros países a usar comunicações por satélites.

Em 1965 o Ministério da Aeronáutica instalou uma base de lançamentos no Rio Grande do Norte, e começou a desenvolver foguetes de sondagem e mísseis no Centro Técnico de Aeronáutica (CTA). A partir dessa época cresceu a indústria aeroespacial e de armamentos sediada em São José dos Campos.

Em 1980, com base em estudos de viabilidade feitos por engenheiros do CTA e do INPE no ano anterior, o governo decidiu empreender um grande projeto de capacitação tecnológica, que recebeu o nome de Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Ficou estabelecida a meta de desenvolver no país um veículo lançador (foguete de propelente sólido), um novo centro de lançamentos e, quatro satélites com aplicações ambientais (dois para coleta de dados e dois para observação da Terra). Os satélites deveriam ser colocados sucessivamente em órbita pelo foguete nacional, lançado do território brasileiro, no triênio 1986-1988. No ano seguinte, 1981, a programação da MECB foi refeita: o primeiro lançamento ficou marcado para 1989. Todavia, mesmo este prazo mais realista não pôde ser cumprido, principalmente porque não se conseguiu levar a cabo o desenvolvimento do foguete da maneira prevista.

O projeto MECB como um todo foi prejudicado, desde a origem, por problemas organizacionais, gerenciais e orçamentários. A partir de 1987 aumentaram as restrições do exterior à importação pelo CTA de certos materiais e componentes necessários ao desenvolvimento do Veículo Lançador de Satélites (VLS), dificultando ainda mais sua realização, já então bastante atrasada.

⁷ Adaptado de Carleial, 1999.

Em 1988 já estava patente que, além de rever a estratégia e as táticas para obter sucesso com o foguete lançador em médio prazo, era necessário providenciar algum outro meio de lançamento, no exterior, pelo menos para o primeiro satélite, cujo desenvolvimento não encontrara obstáculo. No entanto, a necessidade de buscar uma alternativa estrangeira para lançar o primeiro satélite nacional criou um impasse político só superado em 1991.

Resolvido o impasse, o primeiro satélite nacional, o Satélite de Coleta de Dados 1 (SCD-1), com a missão de coleta de dados ambientais, foi finalmente lançado a 9 de fevereiro de 1993 por um foguete americano *Pegasus*, que partiu de um avião da NASA enquanto este sobrevoava o Oceano Atlântico a sudeste da Flórida. Desde então, o SCD-1 opera, recebendo e retransmitindo dados captados no solo por pequenas estações automáticas conhecidas como PCDs (Plataformas de Coleta de Dados). O desempenho do SCD-1 excedeu todas as expectativas plausíveis para um protótipo pioneiro desenhado e construído para funcionar por um ano com 80% de confiabilidade. Em 1998 foi lançado o segundo satélite da série SCD, o SCD-2, com as mesmas características operacionais do primeiro.

Tentativas de lançamento do VLS foram finalmente realizadas a partir do final dos anos 90 (1997, 1999 e 2003), mas sem que tivessem atingido pleno êxito. Neste período o INPE desenvolveu em cooperação com a China dois satélites da série CBERS, que foram lançados em 1999 e 2003 por lançadores chineses.

Um terceiro satélite da série CBERS deverá ser lançado em 2007 (CBERS-2B) e já há outros dois em desenvolvimento, os CBERS 3 e 4.

O Apêndice A apresenta uma cronologia resumida do Programa Espacial Brasileiro.



A ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA ESPACIAL BRASILEIRO

O Programa Espacial Brasileiro está organizado de forma descentralizada em torno de diversos órgãos pertencentes aos Ministérios da Ciência e Tecnologia (MCT) e Ministério da Defesa (MD). A Figura 6 apresenta o organograma para as atividades espaciais nacionais, no qual as várias instituições envolvidas são apresentadas, juntamente com um resumo de suas áreas de atuação.

A AEB tem sob sua responsabilidade a formulação e execução da Política Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (PNDAE) e do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), bem como da coordenação central do Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (SINDAE).

O PNAE é um documento de planejamento que é revisto e reeditado periodicamente. Sua elaboração está a cargo da AEB e sua aprovação ocorre em um colegiado denominado Conselho Superior da AEB, integrado por representantes de quase todos os Ministérios. O documento apresenta um horizonte de planejamento de 10 anos, sendo que o último é válido para o período 2005-2014.

A criação da Agência Espacial Brasileira (AEB) em 1994 marcou a passagem da coordenação do Programa Espacial Brasileiro do âmbito militar para o civil. Isto ocorreu por meio da transferência para a AEB das atribuições da Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), órgão vinculado ao então Estado-Maior das Forças Armadas (EMFA).

Mais recentemente, uma nova modificação na estrutura dos órgãos que atuam no programa espacial transformou o antigo Departamento de Pesquisas e Desenvolvimento (DEPED) do Comando da Aeronáutica, no Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA).

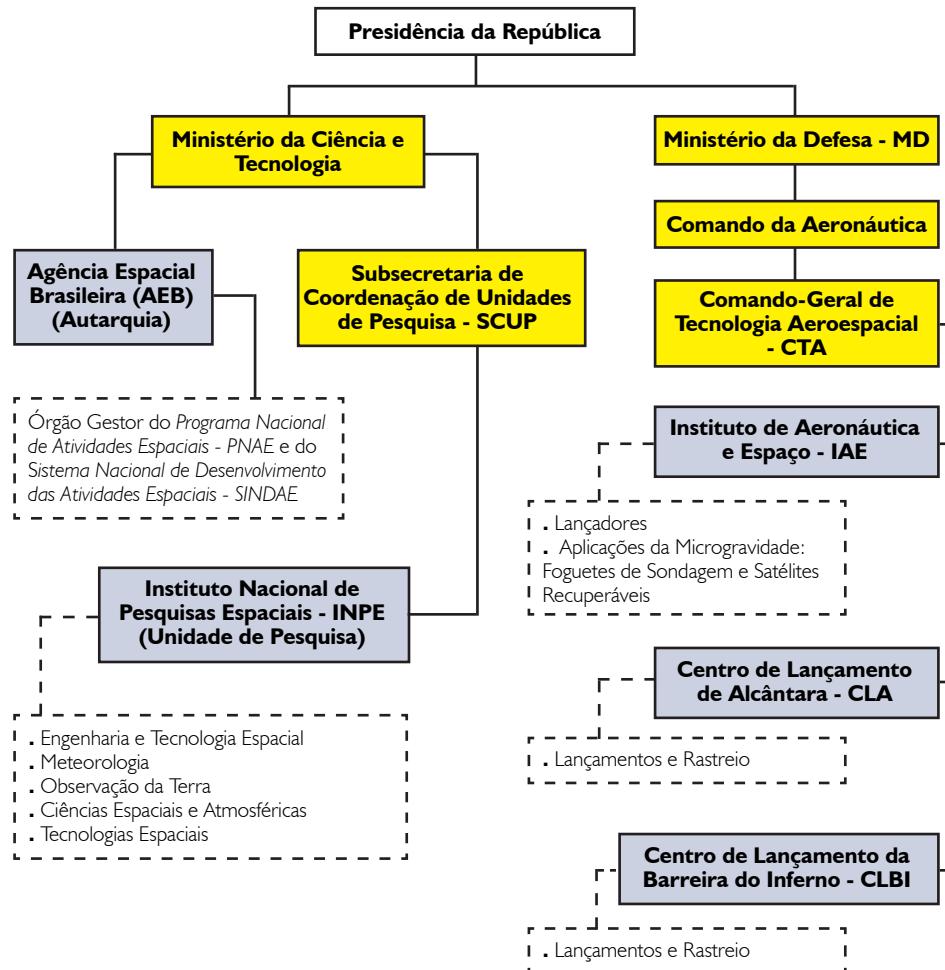


Figura 6. Organograma governamental para a área espacial.
Fonte: Souza (2005).



OS SATÉLITES DE COLETA DE DADOS 1 E 2 (SCD-1 E SCD-2)⁸

O SCD-1 é um satélite de pequeno porte que opera em uma órbita de 760 km de altitude. A Figura 7 apresenta sua forma octogonal característica.

O Satélite SCD-1 possui as seguintes características técnicas:

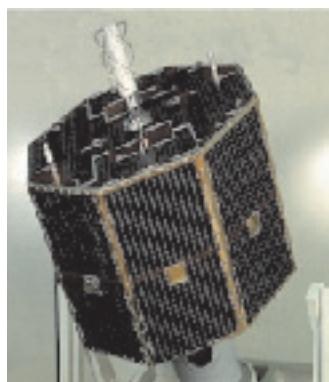


Figura 7. O satélite de coleta de dados SCD-1.
Fonte: INPE (2005a)

- Forma: Prisma de base octogonal
 - Dimensões: 1 m de diâmetro, 1,45 m altura
 - Massa Total: 115 kg
 - Potência Elétrica: 110 W
 - Estrutura: Painéis Colméias de alumínio
 - Estabilização de atitude: Rotação
 - Controle Térmico: Passivo
 - Órbita: Circular de 750 km de altitude com 25 graus de inclinação
-
- Comunicação de serviço: Transponder de telemetria e telecomando na banda S
 - Cargas úteis: Transponder de coleta de dados na faixa UHF/S e experimento de células solares

O controle de atitude é feito por rotação, imposta pelo veículo lançador (aproximadamente 120 rpm no início, sem controle da velocidade de rotação). Um amortecedor de nutação corrige os eventuais desvios na separação. A correção da direção do eixo de rotação pode ser feita com a utilização de uma bobina magnética telecomandada da Terra. A determinação de altitude é feita a partir de sensores solares (dispositivos para localizar o Sol em relação ao satélite) e de um magnetômetro (dispositivo para medir a direção e a magnitude local do campo magnético da Terra).

A geração de potência é feita a partir de oito painéis laterais retangulares e um octogonal superior composto por células de silício. Uma Unidade de Condicionamento de Potência (PCU) condiciona e direciona a energia gerada para todo o satélite. Uma bateria de níquel-cádmio (com capa-

⁸ Adaptado de Fonseca, 2004

cidade de 8 Ampéres-Hora) acumula energia para operação do SCD-1 durante suas fase de eclipse. O excesso de potência produzida é dissipado por dois dissipadores localizados no painel inferior. Um conversor DC/DC e uma Unidade de Distribuição de Potência (PDU) terminam a composição do subsistema.

A Figura 8 apresenta a sua órbita e a Figura 9 mostra o satélite durante sua fase de integração ao lançador.

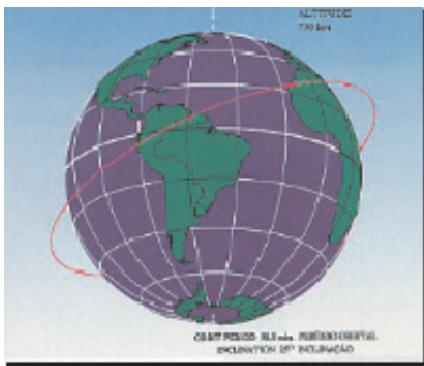


Figura 8

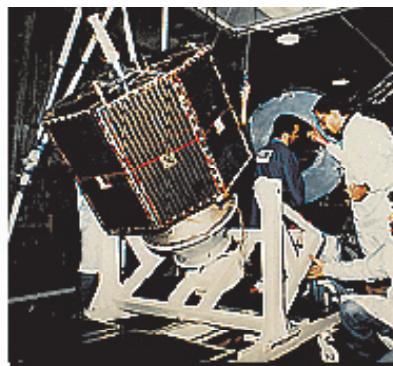


Figura 9

Figura 8. A órbita do SCD-1.
Fonte: INPE (2005a).

Figura 9. A integração do SCD-1.
Fonte: INPE (2005b).

O sistema de supervisão de bordo, com programação carregável a partir do solo, é constituído por dois computadores: a Unidade de Processamento Central (UPC) e a Unidade de Processamento Distribuído (UPD/C). O sistema permite a utilização de comandos temporizados e o armazenamento de todas as telemetrias de bordo para transmissão durante a visibilidade das estações terrenas. O subsistema de Telemetria, Rastreio e Comando (TT&C) compreende um decodificador de telecomandos (Decoder), dois Transponders redundantes operando em banda S e um codificador de telemetrias (Codir). Duas antenas quadrifilares de mesma polarização, localizadas nos painéis superior e inferior do satélite possibilitam o acesso ao mesmo a partir das estações de rastreio e vice-versa.

A estrutura é composta por um cilindro central em alumínio que suporta três painéis de forma octogonal sobre os quais os vários equipamentos são acomodados. A rigidez é garantida por quatro barras inclinadas que prendem as abas do painel central à junção do cilindro com o painel inferior. Oito painéis laterais de fechamento definem a forma do satélite. A ligação com o lançador é realizada através de um flange de adaptação de alumínio.

O controle térmico, totalmente passivo, foi viabilizado com a utilização de fitas térmicas e revestimentos (pinturas) com propriedades termo-ópticas convenientes. Alguns equipamentos foram aterrados termicamente (quando muito dissipativos) e outros foram isolados do ambiente para minimizar sua faixa de temperatura de operação em órbita.

A carga útil do satélite consiste em um transponder de coleta de dados (Transponder PCD), o qual recebe os sinais emitidos pelas plataformas automáticas em terra através de antenas em UHF (monopolos no painel

inferior e quadripolo no painel superior) e os retransmite em tempo real (sem armazenamento a bordo) em banda S (quadripolos nos painéis inferior e superior) para as estações de rastreio.

O SCD-2, lançado na noite de 22 de outubro de 1998, novamente por um foguete Pegasus, também teve pleno sucesso. Este segundo satélite é quase idêntico ao primeiro, exceto por alguns aperfeiçoamentos incorporados ao projeto original. Também é significativo o fato de que, enquanto a maioria dos equipamentos de bordo do SCD-1 foi construída no próprio INPE, a participação industrial aumentou no SCD-2.

Os satélites SCDs fazem parte da Missão de Coleta de Dados, que visa fornecer ao país um sistema de coleta de dados ambientais, baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs), distribuídas pelo território nacional. As PCDs são pequenas estações automáticas instaladas, geralmente, em locais remotos. Desde o início do programa o número de PCDs instaladas tem aumentado continuamente, já havendo mais de 750 em operação. Sua fonte de energia são pequenos painéis solares (dotados de células fotovoltaicas).

Os dados adquiridos pelas PCDs são enviados aos satélites que os retransmitem para as estações receptoras do INPE em Cuiabá (Mato Grosso) e Alcântara (Maranhão). A partir daí os dados são enviados para o Centro de Missão, em Cachoeira Paulista (São Paulo), onde é feito o seu tratamento, para distribuição imediata aos usuários do sistema. Os usuários cadastrados recebem os arquivos com os dados já processados utilizando a Internet. O INPE já atende a aproximadamente 100 organizações usuárias. Os dados coletados são classificados como meteorológicos, hidrometeorológicos e agrometeorológicos, tais como pressão atmosférica, temperaturas do ar e do solo, velocidade e direção do vento, umidade relativa, níveis de rios e reservatórios, intensidade da radiação solar, etc. A Figura 10 apresenta um diagrama da arquitetura de operação do SCD-1 e a Figura 11 mostra um exemplo das Plataformas de Coleta de Dados utilizadas.

Figura 10. O SCD-1 e suas PCDs.
Fonte: INPE (2005c).

Figura 11. Plataforma de Coleta de Dados (PCD).
Fonte: INPE (2005d).



Figura 10



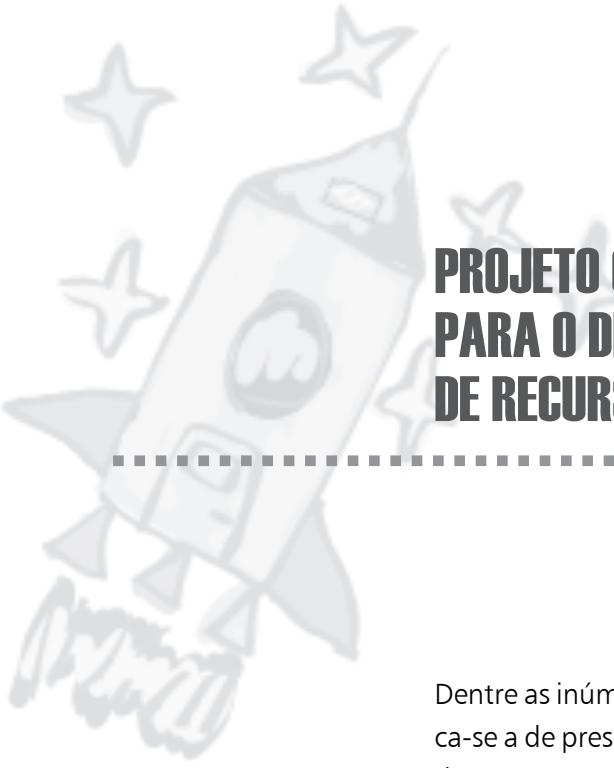
Figura 11

O satélite SCD-2 é bastante similar ao SCD-1. Ele apresenta as mesmas características do SCD-1, com a exceção da estabilização, que ocorre a uma

velocidade de rotação inferior (34 rpm), e das bobinas magnéticas colocadas para controlar essa velocidade. Ele também conta com um experimento adicional, denominado Experimento Roda de Reação.

Em termos de índice de nacionalização, para um valor de 73% para o SCD-1, chegou-se a 85% para o SCD-2. Adicionalmente, a participação de empresas brasileiras passou de 9% no SCD-1 para 20% no SCD-2, consagrando a diretriz do INPE de transferência de tecnologia para a indústria nacional. Lançado no dia 22 de outubro de 1998, novamente utilizando um lançador Pegasus, o SCD-2 ampliou os serviços prestados pelo SCD-1.

Os dados coletados pelos satélites SCD-1 e SCD-2 são utilizados para aplicações como: alimentar os modelos de previsão de tempo do CPTEC; estudos sobre correntes oceânicas, marés e, química da atmosfera; planejamento agrícola; entre outras. Uma aplicação importante dos satélites é o monitoramento das bacias hidrográficas através das plataformas de coletas de dados. Os dados fluviométricos e pluviométricos coletados são de interesse tanto da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), quanto da Agência Nacional de Águas (ANA).



PROJETO CONJUNTO BRASIL-CHINA PARA O DESENVOLVIMENTO DE SATÉLITES DE RECURSOS TERRESTRES

Dentre as inúmeras responsabilidades atuais de um Estado moderno, destaca-se a de preservar seu patrimônio ambiental por meio do estabelecimento de ações e regras que visem sua exploração com eficácia econômica e sustentabilidade. Para tanto, o uso das modernas ferramentas de observação da Terra torna-se mandatório, dada a dinâmica induzida pelas mudanças naturais e pela atividade humana.

Para compreender a complexa relação entre os diversos fenômenos ambientais nas mais variadas escalas temporais e espaciais, a observação da Terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva de coletar os dados necessários para monitorar e modelar os fenômenos ambientais, particularmente no caso de nações de grande extensão territorial, como é o caso do Brasil.

Embora seja possível obter de forma regular no mercado internacional os produtos necessários para este trabalho (os dados brutos coletados pelos satélites), a situação de dependência é sempre indesejável sob o ponto de vista estratégico, seja por não permitir o domínio de todas as tecnologias envolvidas, pelo constante envio de divisas para fora do país, pela possível inadequação dos sensores em órbita a todas às peculiaridades do território nacional a ser observado e, finalmente, pelo risco de não dispor dos produtos requeridos por razões que lhe fogem ao controle.

Cientes destes fatos, na década de 80, China e Brasil iniciaram um processo de aproximação com o objetivo de buscar alternativas de cooperação em atividades espaciais, particularmente na exploração das técnicas de observação da Terra. As duas nações perceberam o quanto estratégica esta cooperação seria para ambas por disporem de vastos territórios carentes de observação com sensores adequados; por serem total ou parcialmente dependentes de satélites estrangeiros para a obtenção das imagens que necessitavam; por terem população distribuída de forma irregular e; por compartilharem objetivos estratégicos semelhantes nas áreas de ciência e tecnologia.

Assim, em 6 de julho de 1988, durante o governo do Presidente José Sarney, um programa de cooperação para desenvolver um par de satélites de observação da Terra foi assinado pelos governos do Brasil e da República Popular da China, sendo então criado o Programa Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (China-Brazil Earth Resources Satellite – CBERS). Na China a implementação do Programa CBERS ficou sob a responsabilidade da *Chinese Academy of Space Technology* (CAST) e no Brasil ficou a cargo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Este acordo de cooperação foi concebido de forma diversa das modalidades usuais de cooperação ou assistência técnica existentes entre nações, seja por meio do intercâmbio de pesquisadores, seja pela venda de equipamentos. Neste caso, o objetivo era o de buscar de forma desimpedida o desenvolvimento conjunto de um sistema sofisticado de observação da Terra por meio de satélites, no qual cada uma das nações se beneficiaria das vantagens competitivas da outra.

A título de exemplo, deve ser mencionada a maior familiaridade brasileira com os métodos e técnicas de gerenciamento de programas espaciais praticados no ocidente e seu maior acesso ao mercado internacional dos componentes requeridos por estes sistemas. Pelo lado chinês, a experiência por eles acumulada no desenvolvimento de lançadores e no lançamento e operação de diversos satélites, constituía um complemento ideal à capacitação brasileira.

Seu objetivo era unir a capacitação técnica e os recursos financeiros das duas nações com o propósito de desenvolver um sistema completo de sensoriamento remoto, que apresentasse compatibilidade com os sistemas já disponíveis comercialmente, que pudesse vir no futuro competir com eles no mercado de comercialização desse tipo de produto.

Para tanto, foi concebido um sistema com cobertura global realizada com diversas câmeras ópticas, complementadas por um sistema de coleta de dados ambientais. A Figura 12 apresenta uma ilustração do satélite CBERS.

China e Brasil dividiram a responsabilidade pelo custo do desenvolvimento dos satélites e seu lançamento, cabendo 70% e 30% respectivamente a cada um. Coube ao Brasil fornecer a estrutura mecânica, os equipamentos para o sistema de suprimento de energia (incluindo o painel solar), a câmara *Wide Field Imager* (WFI) e, os sistemas de coleta de dados e de telecomunicações de bordo. Dentre elas, a fabricação dos computadores de bordo e dos transmissores de microondas foi contratada junto a empresas brasileiras. Aos chineses coube o fornecimento das outras partes dos satélites e dos lançadores utilizados.

As atividades tiveram início em 1988 e culminaram com o lançamento do primeiro modelo (CBERS-1) em 14 de outubro de 1999, utilizando-se o foguete chinês Longa Marcha 4B, a partir da Base de Lançamento de Taiyuan, situada na província de Shanxi, a cerca de 750 km sudoeste de Beijing (Pequim), como mostrado na Figura 13.



Figura 12. O satélite CBERS e o emblema do programa.

Fonte: ETE/INPE
– Divulgação.



Figura 13. O lançamento do satélite CBERS-1 em 14 de outubro de 1999.

Fonte: INPE (2005e).



Figura 12

Figura 13

Com o início das operações do CBERS-1 em 1988, foram aceleradas as atividades de fabricação do CBERS-2, que incluíam as etapas de integração e testes no Brasil, ao contrário do que ocorreu com o CBERS-1, que foi integralmente montado e testado na China. Seu lançamento ocorreu em 21 de outubro de 2003. Em outubro de 2005 o CBERS-2 completou dois anos de operação, sendo o único ainda em operação, pois o CBERS-1 interrompeu seus serviços após quatro anos de operação continuada.

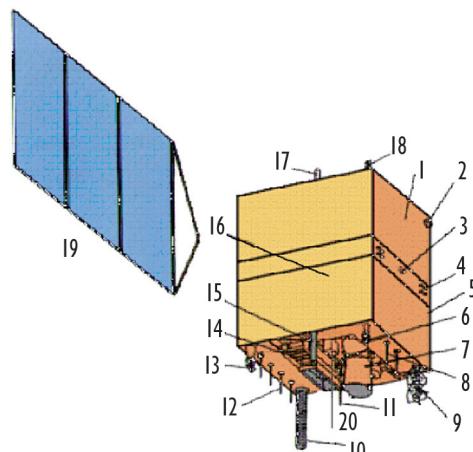
Em virtude do sucesso obtido no desenvolvimento dos dois satélites, Brasil e China iniciaram discussões objetivando especificar, desenvolver, fabricar, lançar e operar uma nova geração de satélites da família CBERS (CBERS-3 e CBERS-4), dotados de maiores avanços em seus sensores e cabendo responsabilidades iguais a cada um dos dois parceiros (50% para cada parte). Com o objetivo de evitar uma eventual interrupção do fornecimento de imagens, Brasil e China também decidiram pelo lançamento do CBERS-2B, satélite idêntico ao CBERS-2, em 2007. Seu objetivo é manter o funcionamento do sistema até o lançamento do CBERS-3, na eventualidade de uma falta do CBERS-2.

Figura 14. Diagrama esquemático com as partes do satélite CBERS.

Fonte: ETE/INPE – Divulgação.

1 Módulo de Serviço
2 Sensor de Presença do Sol
3 Conjunto dos Propulsores de 20 N (*)
4 Conjunto dos Propulsores de 1 N (*)
5 Divisória Central
6 Antena UHF de Recepção
7 Câmara de Varredura no Infravermelho (IRMSS) (**)
8 Antena de Transmissão da Câmara IRMSS
9 Antena de Transmissão em VHF
10 Antena UHF TX/RX
11 Antena em Banda-S
12 Antena de Transmissão do CCD
13 Antena de Transmissão em UHF
14 Câmara CCD (**)
15 Antena em Banda-S para Telemetria, Telecomando e Rastreio (TT&C)
16 Módulo de Carga Útil
17 Antena em Banda-S para TT&C
18 Antena de Recepção em UHF
19 Painel Solar
20 Câmara WFI (**)

O satélite CBERS apresenta as arquiteturas mecânica e elétrica convencionalmente adotadas para satélites de porte médio com a missão de sensoriamento remoto. Ele é composto de um módulo de serviço, também denominado plataforma, e outro de cargas úteis, ambos com formato de paralelepípedo. A Figura 14 apresenta um diagrama com as partes principais do CBERS.



(*) N = Newton (Medida de força do empuxo)

(**) Instrumentos principais da Carga Útil

A plataforma abriga os equipamentos e subsistemas que sustentam o funcionamento do satélite e das cargas úteis, tais como o suprimento de energia, o controle da atitude (que cuida do apontamento do satélite no espaço), o controle térmico, a propulsão, a supervisão de bordo e as comunicações com o solo.

O módulo de cargas úteis acomoda as diversas câmaras e equipamentos eletrônicos necessários para o cumprimento da missão do satélite. As câmaras são as seguintes: High Resolution CCD Camera (CCD), Infrared Multispectral Scanner (IRMSS) e Wide Field Imager (WFI).

A potência elétrica necessária para a sua operação é fornecida por painel solar que permanece constantemente apontado para o Sol. Devido as suas dimensões, o mesmo é dobrado para que possa ser acomodado no volume disponível na coifa (extremidade superior) do foguete lançador, quando do lançamento. Uma vez em órbita, seus segmentos são abertos por meio de mecanismos de articulação. Ao final da abertura o painel é travado e tem sua superfície coberta com células fotovoltaicas apontadas para o Sol, permanecendo desta forma por meio de um sistema de controle automático que o gira para acompanhar os movimentos relativos entre o satélite e o Sol.

Com o objetivo de garantir a precisão das imagens a serem adquiridas, o satélite possui um subsistema de controle de seu apontamento para a Terra, também denominado de subsistema de controle da atitude, que o mantém permanentemente apontado dentro de frações de grau.

Como todos os satélites em órbita da Terra, o CBERS está exposto a um ambiente térmico extremamente rigoroso, que inclui temperaturas extremas de aquecimento e de resfriamento. Para que os diversos equipamentos e cargas úteis que o constituem sejam mantidos nas suas faixas adequadas de temperatura de operação, o satélite também conta um subsistema de controle térmico que por meio de dispositivos ativos e passivos é capaz de regular simultaneamente as várias temperaturas internas e emitir para o espaço o calor excedente.

As características do satélite CBERS estão listadas abaixo. Dentre elas, as mais relevantes são: a sua massa (aproximadamente 1450 kg); o tipo de estabilização adotado (ativamente estabilizado em 3 eixos) e; a sua vida útil que é estimada em 2 anos.

- Massa total: 1450 kg
- Potência gerada: 1100 W
- Baterias: Duas de 30 Ah (Ampére-hora) de tecnologia NiCd
- Dimensões do corpo do satélite: 1,8 m por 2,0 m por 2,2 m
- Dimensões do painel solar: 6,3 m por 2,6 m
- Altitude da órbita hélio-síncrona: 778 km
- Inclinação: 98,504 graus em relação ao plano do equador
- Período orbital: 100,26 minutos
- Propulsão a hidrazina: 16 motores de 1 N e 2 motores de 20 N

- Tipo de estabilização: em 3 eixos
- Supervisão de bordo: do tipo distribuída
- Comunicação de serviço (TT&C): UHF e Banda S
- Tempo de vida: 2 anos (com confiabilidade de 60%)

Como exposto anteriormente, o satélite CBERS é equipado com câmaras para observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados ambientais. São sensores especialmente projetados para atender aos requisitos de escalas temporais (tempo mínimo necessário para fotografar duas vezes uma dada região) e espaciais (resolução da imagem no solo) características de nosso ecossistema.

O satélite permanece em uma órbita síncrona com o Sol a uma altitude de 778 km, completando 14 órbitas completas por dia. Nesta órbita o satélite sempre cruza a linha do equador às 10h30min da manhã, hora local, propiciando sempre as mesmas condições de iluminação solar. A Fig. 15 ilustra a órbita adotada pelo satélite CBERS-1.

As câmeras CCD e IRMSS possuem campos de visada de 113 km e 120 km, respectivamente. O tempo necessário para se adquirir imagens de todo o globo terrestre com ambas é de 26 dias. A câmara WFI consegue imagear uma faixa de 890 km de largura e o tempo necessário para uma cobertura global é de apenas 5 dias. A Figura 16 apresenta a cabeça óptica da câmara WFI.

Figura 15. A órbita do satélite CBERS-1.
Fonte: INPE (2005f).

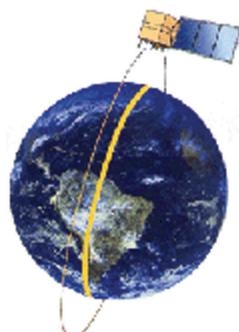


Figura 16. Cabeça óptica da câmara WFI.
Fonte: INPE (2005g).

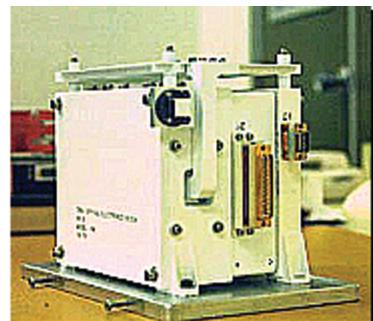


Figura 15

Figura 16

Os instrumentos presentes no satélite CBERS são os seguintes (Santana e Coelho, 1999):

- **Câmera de Varredura no Infravermelho (IRMSS):** a câmara de varredura IRMSS estende o espectro de observação do CBERS até o infravermelho termal. O IRMSS produz imagens de uma faixa de 120 km de largura com uma resolução de 80 m (160 m no canal termal). Em 26 dias obtém-se uma cobertura completa da Terra que pode ser correlacionada com aquela obtida através da câmara CCD. Um exemplo do tipo de imagem obtida está na Figura 18.
- **Câmera CCD de Alta Resolução (CCD):** a câmara CCD fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução de 20 m. Esta câmara tem capacidade de orientar seu campo de visada dentro de

64 graus, possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas de uma certa região. Além disso, qualquer fenômeno detectado pelo WFI pode ser focalizado pela câmara CCD através do apontamento apropriado de seu campo de visada, dentro de no máximo 3 dias. As imagens obtidas através desta câmara são utilizadas em agricultura e planejamento urbano, além de aplicações em geologia e hidrologia. São necessários 26 dias para uma cobertura completa da Terra com a câmara CCD. Um exemplo do tipo de imagem obtida está na Figura 19.

- **Imageador de Largo Campo de Visada (WFI):** o WFI faz imagens de uma faixa de 890 km de largura, produzindo imagens com resolução de 260 m. Em cerca de 5 dias obtém-se uma cobertura completa do globo em duas faixas espectrais, o verde e o infravermelho próximo. Um exemplo do tipo de imagem obtida está na Figura 20.
- **Retransmissor do Sistema de Coleta de Dados:** o CBERS incorpora um sistema de coleta de dados destinado à retransmissão, em tempo real, de dados ambientais coletados na Terra e transmitidos ao satélite por meio de pequenas estações autônomas. Os dados provenientes destas estações localizadas em qualquer ponto da Terra são dirigidos, ao mesmo tempo, a centrais de processamento e aos usuários finais.

Como exposto anteriormente, o satélite CBERS foi concebido tendo por objetivo cumprir duas missões primárias. São elas:

- Observação da Terra por meio de três câmaras distintas (CCD, IRMSS e WFI).
- Retransmissão dos dados do sistema de coleta de dados implantado no Brasil pela Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

A execução da missão demanda a constituição de um sistema de solo que permita o controle do satélite e a aquisição de seus dados. Esta função é cumprida por uma série de sistemas existentes tanto no Brasil quanto na China. Deles fazem parte:

- Antenas de recepção de dados de rastreio e telemetria, também utilizadas para o envio de telecomandos, que servem para enviar e receber a comunicação de serviço do satélite, que é utilizada para supervisionar e manter o seu funcionamento. Estas antenas também servem para a coleta dos dados brutos do sistema de coleta de dados.
- Antenas para a recepção das imagens adquiridas pelas câmaras do satélite, que servem para receber os dados brutos das três cargas úteis ópticas do satélite.
- Centros de Controle. Servem para supervisionar o funcionamento do satélite e comandá-lo. As atividades são executadas pelo Brasil e pela China em períodos alternados.
- Centros de Processamento das Imagens. Servem para tratar os dados brutos das câmaras e preparar os produtos solicitados pelos usuários.

- Centros de Missão. Servem para programar o funcionamento das câmaras de acordo com as necessidades dos usuários.
- Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) que enviam dados ambientais para o satélite, que são posteriormente retransmitidos para a Terra.

A Figura 17 apresenta de forma esquemática a interação entre os sistemas de solo e o satélite.

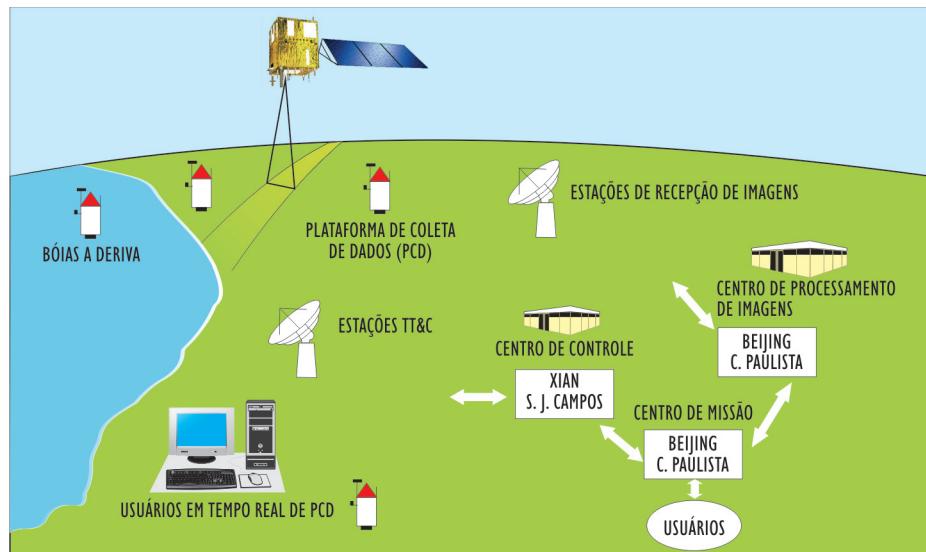


Figura 17. Intereração entre os sistemas de solo e o satélite CBERS.
Fonte: INPE (2005h).

Exemplos de resultados obtidos com cada uma das câmeras ópticas do satélite CBERS são apresentados nas Figuras 18, 19 e 20.

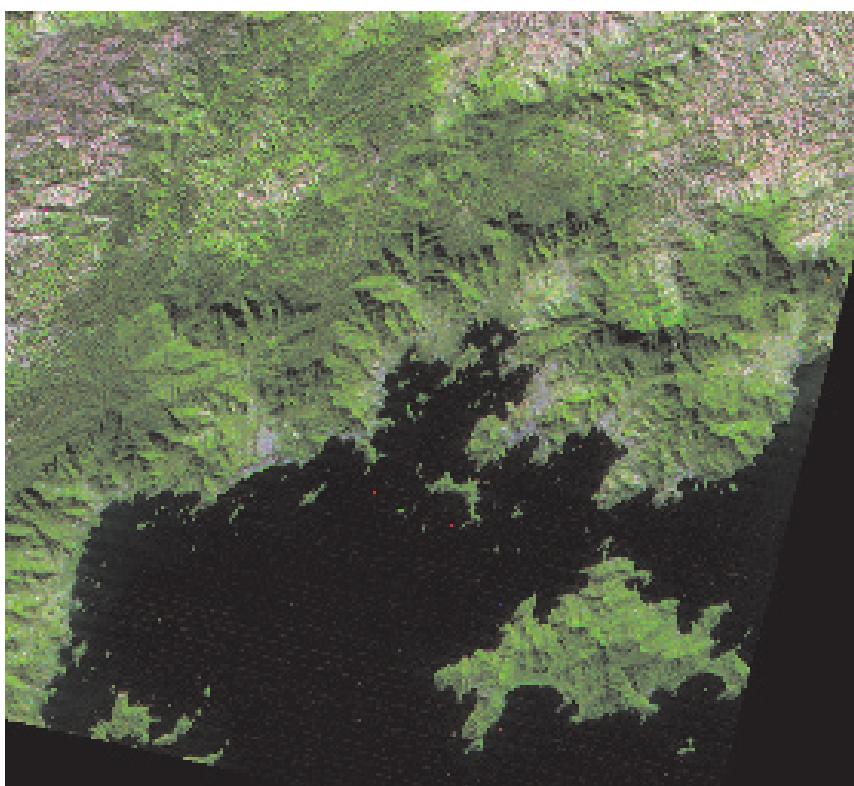


Figura 18. Imagem CBERS de Angra dos Reis e Ilha Grande no litoral sul do Rio de Janeiro, imageados pelo sensor IRMSS. Destaca-se a presença da Mata Atlântica nas áreas serranas e na Ilha Grande. Outro destaque é a grande quantidade de pequenas ilhas que a região abriga.
Fonte: INPE (2005i).

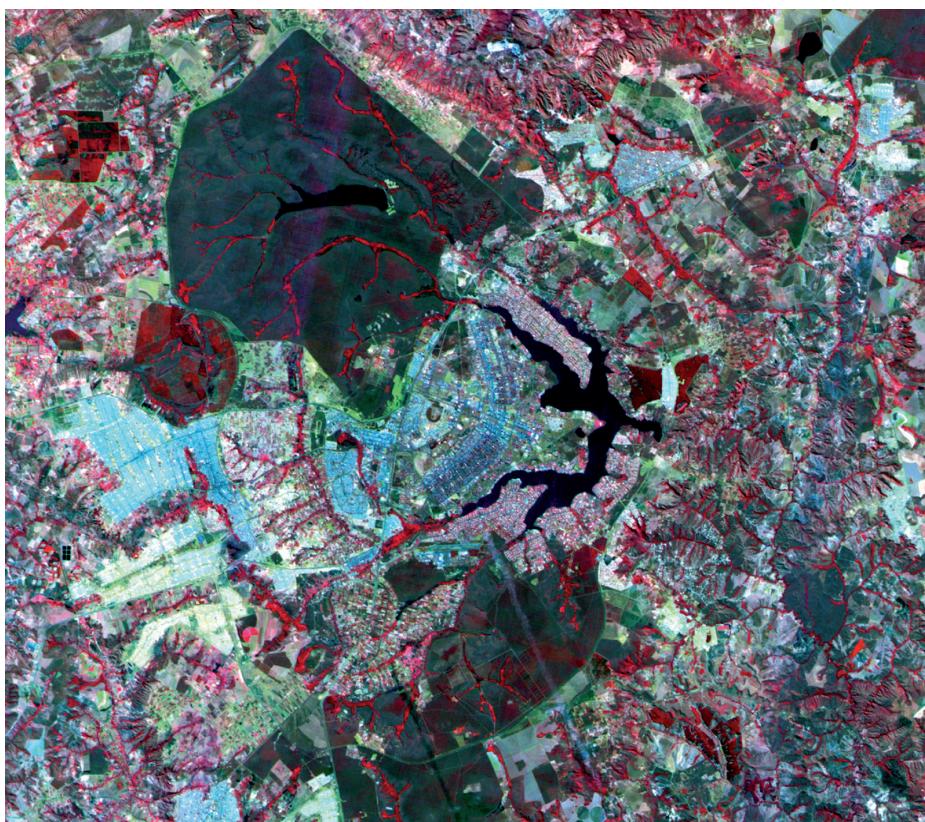


Figura 19. Imagem CBERS do Plano Piloto de Brasília e seu contorno imageados pelo sensor CCD em 31 de julho de 2000. Destaca-se o cinturão das cidades satélites em plena expansão, bem como a presença de novos loteamentos. Na parte sul da cena aparece uma longa pluma de fumaça.
Fonte: INPE (2005i).

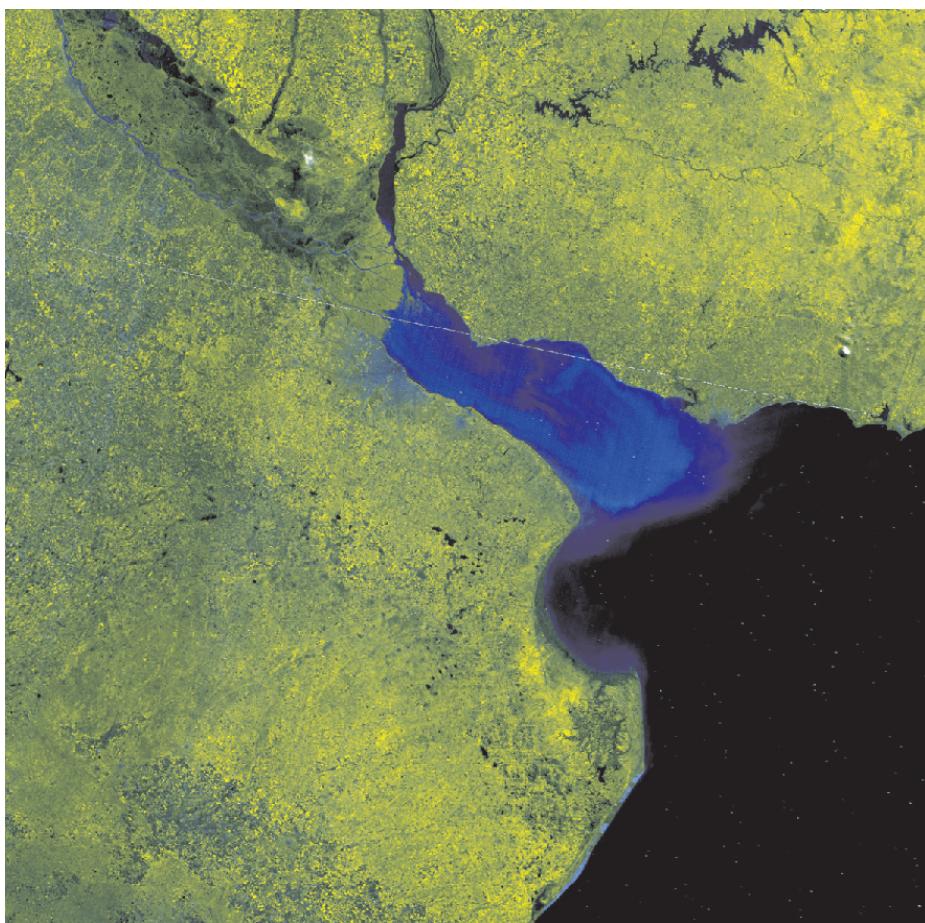


Figura 20. Imagem CBERS da região de Buenos Aires e do Rio da Prata imageados pelo sensor WFI. As águas dos rios Paraná e Uruguai se dispersam ao largo de Buenos Aires, formando a grande pluma azul mais clara que avança para o Oceano Atlântico.
Fonte: INPE (2005i).



O PROGRAMA BRASILEIRO DE PEQUENOS SATÉLITES E SATÉLITES CIENTÍFICOS⁹

Após o sucesso do SCD-1 e SCD-2, outros projetos de pequenos satélites científicos e de aplicações de engenharia conseguiram apoio no Brasil para serem desenvolvidos, na maioria dos casos com parceiros estrangeiros.

Um fato importante no projeto Brasil-China foi que o lançamento do CBERS-1 levou também ao espaço, de carona, o primeiro satélite científico brasileiro, o SACI-1 de apenas 60 kg, construído pelo INPE em cooperação com outras instituições de pesquisa. Infelizmente, devido a uma possível falha no sistema de comunicação ou outro subsistema associado, a missão SACI-1 falhou, embora o satélite tenha sido colocado na órbita prevista pelo foguete chinês Longa Marcha 4. Nunca se conseguiu estabelecer comunicação entre o satélite científico e a Terra. Um segundo satélite científico foi desenvolvido em seguida, o SACI-2 (Figura 21), que foi perdido devido à falha no segundo lançamento do foguete nacional VLS. Com isso a série de satélites SACI foi encerrada.

Mais recentemente, em 2003, o INPE integrou um satélite tecnológico de pequenas dimensões (denominado SATEC). Ele pode ser visto na Figura 22, já integrado ao último estágio do VLS-1 (3º protótipo). Em virtude do acidente ocorrido na torre de lançamento em agosto daquele ano, também este satélite foi perdido.

Figura 21. O satélite SACI-2.
Fonte: ETE/INPE
– Divulgação

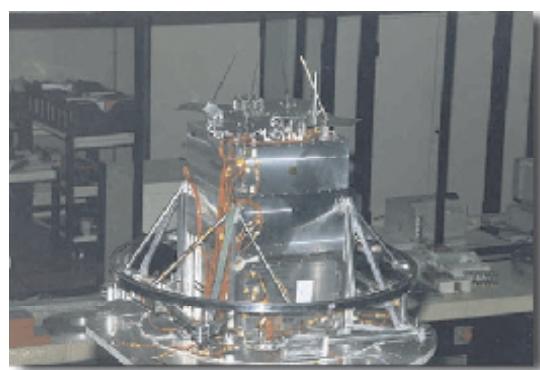


Figura 21

Figura 22. O satélite SATEC.
Fonte: ETE/INPE
– Divulgação



Figura 22

⁹ Adaptado de Fonseca, 2004

Encontram-se em desenvolvimento no INPE uma Plataforma Multi-Missão (PMM) e o satélite EQUARS (*Equatorial Atmosphere Research Satellite*) – Satélite de Pesquisa da Atmosfera Equatorial.

Com o projeto da PMM, espera-se obter um sistema que, independentemente da carga útil utilizada, as seguintes funções necessárias para o cumprimento da missão possam ser executadas:

- Suporte estrutural para montagem de equipamentos.
- Suprimento de potência elétrica à carga útil.
- Controle de órbita e propulsão.
- Comunicações de serviço (telemetria/telecomandos/localização).
- Gestão de dados a bordo.
- Controle térmico.

A Plataforma Multi-Missão do INPE é um conceito moderno em termos de arquitetura de satélites. Consiste em reunir em uma plataforma todos os equipamentos que desempenham funções necessárias à sobrevivência de um satélite, independente do tipo de órbita ou de seu apontamento.

A idéia de se separar o satélite em uma plataforma que provê serviços básicos, e em uma carga útil “cliente” destes serviços, tem sido explorada atualmente através do conceito de plataformas multi-missão, isto é independente da missão específica ela é facilmente adaptável a cada aplicação, como são os casos da PMM nacional, e o projeto PROTEUS da agência espacial francesa. A Figura 23 ilustra a PMM ora em desenvolvimento no INPE.

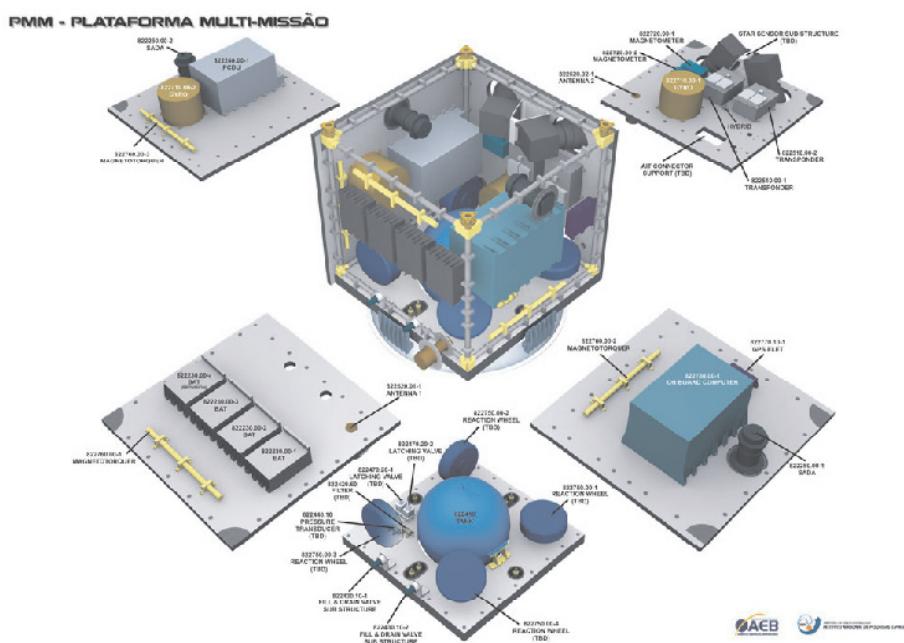


Figura 23. Vista ilustrada da Plataforma Multi-Missão (PMM).
Fonte: ETE/INPE
– Divulgação



ATIVIDADES

Oficina “Como girar um satélite”

Apresentação

Para que um satélite possa cumprir a sua missão, ele sempre precisa estar apontado para uma dada direção. Para que ele possa ser apontado, é necessário que existam a bordo meios de imprimir uma rotação no satélite.

Para que um corpo qualquer possa ser girado, é necessário que lhe seja aplicado um torque. Pelo princípio da ação e reação o torque aplicado no satélite deve contar com um apoio externo. (O princípio da ação e reação foi estabelecido pela 3^a Lei do Movimento de Newton – “A toda ação corresponde uma reação de mesma intensidade e em sentido contrário. Se A aplica sobre B uma força resultante, esse último corpo aplicará sobre A uma outra força resultante de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário.”).

No caso de um automóvel, por exemplo, o apoio é o solo. O torque é aplicado ao girar os pneus, o que provoca o deslocamento do veículo. No caso de um barco, o apoio é a água. O torque é aplicado ao girar o leme, o que provoca uma rotação do barco. No caso de um avião, o apoio é o ar. O torque é aplicado ao girar as bordas das asas ou outras superfícies de controle, o que provoca uma rotação do avião.

Esta atividade demonstra, por meio da utilização de materiais simples e alternativos, como acontece o movimento rotacional de um Satélite Artificial. Neste experimento, em vez de dos gases utilizados pelos satélites verdadeiros, será utilizada a água impulsionada pela gravidade.

Objetivos

Demonstrar o princípio da ação e reação (Terceira Lei do Movimento de Newton) envolvido na rotação em um satélite no espaço.

Sugestão de Problematização

Como um satélite artificial consegue girar no espaço sem nenhum ponto de apoio?

Materiais

- Latas de alumínio de refrigerante vazias ainda com o anel de abertura (no mínimo 3 para cada grupo de 3 ou 4 alunos)
- Linha de pesca fina
- Tesoura
- Três pregos de diferentes diâmetros (designados Pequeno, Médio e Grande)
- Balde com água
- Fita crepe e caneta vermelha

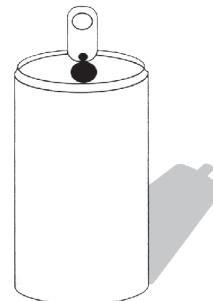


Figura 24

Procedimentos

- a. Faça um furo próximo da base da lata (Figura 25).
- b. Ainda com o prego no furo, girar a sua parte superior para o lado para torcer o furo. (Figura 25).
- c. Fazer outros três furos idênticos a aproximadamente 90 graus um do outro. Torcer os furos sempre na mesma direção.
- d. Amarrar um pedaço de meio metro de linha de pesca ao anel de abertura da lata.
- e. Colar um pedaço da fita crepe na lateral da lata e pintá-lo com tinta vermelha.
- f. Mergulhar a lata no balde de água até que ela fique cheia.
- g. Suspender a lata pela linha acima da superfície da água do balde.
- h. A lata será acelerada pela água que vaza pelos furos. Esta aceleração demonstra o princípio da ação e reação. (Figura 26).

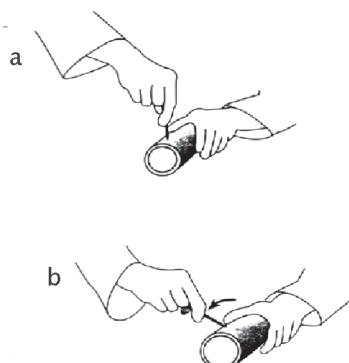


Figura 25



Figura 26

O resultado esperado deverá ser o movimento rotacional da lata de refrigerante, o qual é análogo ao movimento rotacional de um Satélite Artificial em órbita. A ação da gravidade sobre a água que está

dentro da lata produz uma pressão que é máxima no fundo dela. Esta pressão provoca a saída da água, que esguicha pelos furos. A esta ação corresponde uma reação, que é uma força contrária aplicada na borda da lata por cada esguicho. Cada uma destas forças gera um torque em relação ao eixo de rotação da lata. Estes vários torques, atuando sempre no mesmo sentido, aceleram a lata em rotação. A faixa vermelha ajuda a contar o número de voltas dadas pela lata até o momento em que a água se esgota.

- i. Em uma segunda etapa os alunos podem perfurar outras latas variando o número de furos e o diâmetro dos pregos. Em seguida devem fazer medidas comparativas da aceleração resultante por meio da contagem das voltas.
- j. Este experimento também poderá servir para introduzir aspectos da metodologia científica para os alunos. Para tanto, devem ser seguidos os seguintes passos:
 - a. Criar um universo de experimentos explorando a variação no número de furos (2 a 180°, 3 a 120° e 4 a 90°) e a variação no diâmetro dos pregos (pequeno, médio e grande). Com isso seriam preparadas 9 latas. É importante que elas sejam da mesma marca de refrigerante, caso contrário as pequenas variações de uma marca para a outra poderão induzir erros no experimento.
 - b. Estabelecer um número de repetições de cada teste de contagem de voltas, para que possam ser calculadas as médias de cada experimento (sugiro um mínimo de 3 repetições). Se houver a disponibilidade, os alunos podem filmar cada um dos testes com uma máquina fotográfica digital e contar o número de voltas repassando a filmagem em câmara lenta.
 - c. Fazer cada um dos nove testes, repetindo três vezes cada um deles, e calcular as médias do número de voltas. A média será obtida com uma calculadora.
 - d. Colocar os resultados em uma matriz de três linhas por três colunas. Cada linha deve corresponder a um número diferente de furos e cada coluna a um diâmetro diferente dos furos.
 - e. Discutir com a classe os resultados obtidos e analisar as tendências de aumento ou diminuição do número de voltas em função do número de furos e de seu diâmetro. Os resultados também poderão ser organizados em um gráfico. Nele o eixo X indicaria o número de furos, o eixo Y indicaria o número de voltas. Os pontos seriam distribuídos no plano do gráfico e unidos em três linhas, cada uma delas correspondendo a um diâmetro diferente do furo. Esta é uma outra forma de analisar os resultados.

Orientações complementares

O movimento angular do satélite em torno do seu centro de massa define seu movimento de atitude, ou seja, como o satélite se comporta no espaço em relação ao seu centro de massa. O movimento de atitude precisa ser controlado para que o satélite comporte-se de forma a satisfazer os requisitos da missão para a qual ele foi projetado.

Existem vários procedimentos para se fazer o controle de atitude dos satélites. No espaço, o atrito do ar é quase inexistente. Por outro lado, o satélite no espaço não precisa apoiar-se em uma superfície. Por isto, ele gira em torno do seu centro de massa da mesma forma que a Terra gira em torno de si mesma, suspensa no espaço. Esta solução foi adotada pelos satélites brasileiros SCD-1 e SCD-2.

Muitas missões requerem controle da atitude do satélite em três eixos, ou seja, existem duas ou três direções que precisam ser controladas. Um exemplo disto, seria o satélite apontar uma face para a Terra enquanto mantém a outra apontada na direção da velocidade. Nestes casos, o sistema para controlar o satélite pode requerer pequenos motores ou jatos de gás para gerar empuxos; bobinas magnéticas para produzir torques (algo semelhante ao motor de arranque dos carros); e também rodas de reação. Estes equipamentos são todos chamados de “atuadores”.

Por exemplo: as rodas de reação são pequenos volantes equipados com um motor elétrico. Quando o motor acelera o volante em um dado sentido, o resto do satélite é acelerado em sentido contrário. Todos utilizam o princípio da ação e reação de Newton. As bobinas magnéticas combinam propriedades magnéticas e elétricas. Neste caso o satélite requer energia elétrica para gerar torques e girar até às posições desejadas. Rodas de reação também são utilizadas com esta finalidade.

Possíveis desdobramentos (ou Atividades complementares)

Professor/a, esse experimento pode servir de base para outros estudos e aulas práticas que demonstrem conceitos como pressão, produção de movimento pelo uso da água e suas aplicações, funcionamento de uma caixa d’água, etc.

ATIVIDADES

Nilson Marcos Dias Garcia,
Departamento Acadêmico
de Física e Programa de Pós-
Graduação em Tecnologia
– UTFPR

Norma Teresinha Oliveira
Reis, Secretaria de Educação
Básica do Ministério da
Educação (MEC)

Pedro Sérgio Baldessar,
Departamento Acadêmico
de Física – UTFPR

Oficina “Problemas de movimentação num ambiente de microgravidade”

Apresentação

No Espaço, assim como na Terra, são válidos os princípios de conservação de energia e de quantidade de movimento. Teoricamente, a despeito do peso de um objeto na superfície da Terra, quando em órbita, um único tripulante poderia movê-lo e posicioná-lo com facilidade, desde que trabalhasse a partir de uma plataforma estável que apresente inércia suficiente para lhe fornecer o apoio necessário para a execução da tarefa. Na prática, entretanto, por questão de segurança, as massas que podem ser manuseadas livremente por astronautas são limitadas a algumas centenas de quilogramas, mas mesmo assim são bem maiores que aquelas que uma pessoa poderia movimentar na superfície da Terra. Por outro lado, a aparente imponderabilidade pode dificultar as atividades dos astronautas, dependendo da inércia do apoio ao qual ele se vincula.

Assim, se apoiado na nave espacial - de grande massa e consequentemente grande inércia - ele pode efetuar tarefas que não conseguiria na Terra, por causa dos pesos dos objetos envolvidos. Entretanto, se não estiver apoiado em uma plataforma estável e de massa razoável, tal qual um ônibus espacial, empurrar um objeto faz com que o objeto e o tripulante flutuem em sentidos contrários [1].

Dessa forma, considerando que o astronauta, em suas atividades, nem sempre está apoiado na nave espacial, tarefas simples como manusear uma ferramenta ou empurrar um copo, no Espaço, podem se tornar extremamen-

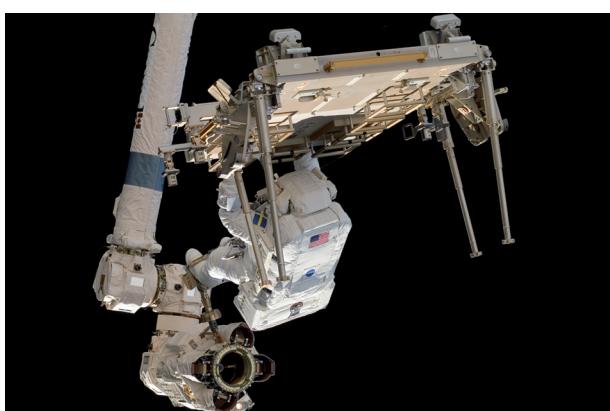


Figura 27. Astronauta
trabalhando no Espaço.
Crédito: NASA

te complicadas, uma vez que tanto a ferramenta quanto o copo, assim como o astronauta - fato às vezes indesejado - podem se movimentar. Por exemplo, se um astronauta se apoiar em um pequeno objeto para lançar à distância uma ferramenta, ele e o pequeno objeto se afastarão do centro de massa do sistema ferramenta-astronauta/pequeno objeto. Mas, relativamente ao pequeno objeto, ele permanecerá em repouso e poderá até mesmo julgar que não se moveu (é claro que ele sentirá uma pequena aceleração e se o pequeno objeto for trocado pelo ônibus espacial ele não perceberá a aceleração astronauta/ônibus espacial.).

Por isso, os astronautas exigem-se exaustivos treinamentos para que, com movimentos complexos e combinados, possa transmitir aos corpos e ferramentas os movimentos desejados.



Figura 28. Astronauta usando uma ferramenta no espaço.
Crédito: NASA

Referencial Teórico

Sistema Isolado e Não Isolado. Quantidade de Movimento

Conceituamos sistema como sendo qualquer parte do universo sujeita a ou passível de observação e/ou manipulação. Em um sistema, podemos considerar o seu interior e o seu exterior. Do interior fazem parte os elementos que o constituem e o definem. O exterior, como o próprio nome indica, constitui a parte externa ao sistema. Mesmo não fazendo parte do sistema, uma parte exterior pode com ele interagir. Nessas condições, essa parte é denominada vizinhança (Macedo, Horácio, 1976).

Se os elementos de um sistema não interagem com sua vizinhança, ele é denominado sistema isolado. Se, por outro lado, eles interagem com a vizinhança, ele é um sistema não isolado.

Isto quer dizer que em um sistema isolado todas as interações só ocorrem entre seus constituintes e o sistema não sofre influência de forças externas e, portanto, a resultante das forças nele atuante é nula.

Imagine uma pedra caindo de uma certa altura. Como sua velocidade aumenta gradualmente, podemos inferir que há uma força resultante atuando sobre ela, mais especificamente, no seu centro de gravidade. Por outro lado, sabemos que a atração gravitacional entre a pedra e a Terra é mútua. Isto quer dizer que a pedra atrai a Terra com uma força igual e contrária ao seu peso e que esta força atua no centro de massa da Terra e que, por essa razão, ela se acelera para encontrar-se com a pedra!

E o tal sistema em que essas observações acontecem? O sistema não é pré-existente. Nós é que o definimos conforme a nossa conveniência. Vejamos para o caso citado, as seguintes possibilidades:

1^a) Admitindo nosso sistema formado apenas pela pedra: ele é um sistema não isolado, pois interage com a Terra (neste caso a Terra é a vizinhança). A resultante das forças sobre o sistema não é nula: é o peso da pedra.

2^a) Admitindo nosso sistema formado apenas pela Terra: ele é um sistema não isolado, pois interage com a pedra (neste caso a pedra é a vizinhança). A resultante das forças sobre o sistema não é nula: é o peso da pedra (seria o peso da Terra no campo gravitacional da pedra e que pelo Princípio da Ação e Reação é igual ao peso da pedra no campo gravitacional da Terra).

3^a) Admitindo o sistema formado pela pedra e pela Terra: ele é um sistema isolado, pois a interação só ocorre entre os constituintes do sistema. A resultante então é nula.

A quantidade de movimento é uma grandeza física muito importante, pois está relacionada às massas dos corpos e às velocidades que eles possuem. Em um sistema isolado, a resultante das forças é nula e pode ser provado que, mesmo durante as interações entre os corpos, a quantidade de movimento total sempre se conserva, ou seja, a quantidade de movimento antes de uma interação é igual à quantidade de movimento após a interação.

Se for denominada a quantidade de movimento por Q , num sistema isolado teremos:

$$Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}}$$

A quantidade de movimento de um corpo é calculada pelo produto de sua massa por sua velocidade.

Em termos algébricos, designando

Q = quantidade de movimento

m = massa do corpo

v = velocidade do corpo

a quantidade de movimento será dada pela expressão:

$$Q = m \cdot v$$

A quantidade de movimento é uma grandeza vetorial (o vetor quantidade de movimento tem sempre a mesma direção e sentido que a velocidade, que também é uma grandeza vetorial), isto é, uma grandeza que para ficar bem entendida precisa que dela seja informado o seu valor numérico, a direção e o sentido de atuação. Por isso, não basta possuir o valor numérico (resultado do produto da massa pela velocidade), mas é preciso também ser informado em que sentido o corpo se deslocará antes e depois da interação. Exemplificando:

i) um aluno sentado na cadeira com rodinhas em repouso, tem quantidade de movimento zero, pois sua velocidade é nula, por maior que seja a massa do aluno.

ii) um aluno de massa 40 kg sentado numa cadeira de rodinhas que está se deslocando da frente da sala para o fundo com velocidade de 5 m/s (equivalente a 18 km/h), tem quantidade de movimento:

$$Q = m \cdot v$$

$$Q = 40 \cdot 5$$

$$Q = 200 \text{ kg.m/s}$$

Esse mesmo aluno, deslocando-se na mesma cadeira com a mesma velocidade, mas indo do fundo para a frente da sala, tem quantidade de movimento também igual a 200 kg.m/s, mas em sentido oposto. Isso quer dizer que se a quantidade de movimento na primeira situação (aluno se deslocando da frente para o fundo) for considerada positiva (+200 kg.m/s), na segunda situação a quantidade de movimento será negativa (-200 kg.m/s), pois o deslocamento da cadeira é oposto ao anterior.

Objetivo

Verificar o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.

Sugestão de Problematização

Por que, no Espaço, deve-se ter cuidado ao empurrar algum objeto ou mesmo um outro astronauta?

Materiais

- Duas cadeiras giratórias com rodinhas ou dois skates ou dois pares de patins.
- Cronômetro.
- Régua ou trena.

A cadeira giratória é uma cadeira com rodinhas, normalmente utilizada em escritórios. Para se obter um resultado satisfatório nesse experimento, é necessário que a cadeira possa deslizar com facilidade no piso, ou seja, tanto as rodinhas têm que estar bem livres e lubrificadas quanto o piso tem que ser liso, com poucas imperfeições.

O uso dos skates ou dos patins pode ser mais eficiente, mas eles são mais perigosos para quem não está habituado a usá-los, o que requer uma atenção maior do professor, no sentido de evitar que os alunos caiam e se machuquem.

Procedimentos

Alguns dias antes da realização do experimento, o(a) professor(a) deve solicitar aos alunos que verifiquem seu “peso” em uma farmácia, por exemplo, e anotem o valor indicado pela balança.

I. Usando a cadeira giratória

- a. O experimento deve ser realizado numa área da sala que tenha o piso mais regular e liso possível. Essa área deve ficar livre de mesas, cadeiras e carteiras, e deve ser o mais distante possível de divisórias, portas e janelas com vidros. Caso seja impossível na sala de aula, o professor deve procurar um outro local da escola, cujo piso seja o mais liso possível.
- b. Escolhido o local, o(a) professor(a) deve traçar com giz, no chão, uma linha reta que servirá de referência para o movimento das cadeiras.



Figura 29. Alunos mais cadeiras formando um sistema.

Crédito: Nilson Garcia



Figura 29. Alunos empurrando um ao outro.

Crédito: Nilson Garcia

- c. Dois alunos devem se sentar nas cadeiras com rodinhas um de frente para o outro. As cadeiras devem ser posicionadas de forma a encostarem duas de suas rodinhas (rodinhas de referência) em cima e uma de cada lado da linha de referência. Os alunos deverão manter os pés afastados do chão durante todo o experimento. Esse conjunto de alunos mais cadeiras vai constituir o que será denominado sistema.

- d. Os alunos devem encostar suas mãos e empurrar um ao outro.
- e. Deve ser medido o afastamento de uma das rodinhas de referência de cada uma das cadeiras em relação à linha traçada no chão pelo professor.

II. Usando o skate

- a. Todas as providências anteriores com relação à definição e condições do piso da sala devem também ser tomadas neste caso.
- b. Com relação ao skate, há duas possibilidades de uso: ou os alunos ficam em pé sobre ele ou sentados nele. Quando sentados, há mais segurança no desenvolvimento do experimento, principalmente no que se refere a evitar eventuais quedas.
- c. Os alunos devem também encostar suas mãos e se empurrar ao mesmo tempo.
- d. Deve ser medido o afastamento de cada um dos skates em relação à linha de referência traçada no chão pelo professor.

III. Usando os patins

- a. Todas as providências anteriores com relação à definição e condições do piso da sala devem também ser tomadas neste caso.
- b. No caso dos patins a única possibilidade de realização do experimento é com os alunos em pé. Eles devem também encostar suas mãos e empurrar um ao outro.
- c. Deve ser medido o afastamento de cada um dos patins em relação à linha de referência traçada no chão pelo professor.
- d. O professor deve permanecer próximo aos alunos para evitar eventuais quedas.

Nota: se a classe for numerosa e se a turma dispuser de uma quantidade maior de cadeiras giratórias, *skates* e/ou patins, o professor pode orientar os alunos a dividirem-se em equipes para a realização do experimento e explicar em cada grupo que os alunos devem cuidar da segurança dos colegas que estiverem realizando o experimento. Assim, além de conteúdos escolares, os alunos serão estimulados a praticar valores de solidariedade e cooperação, fundamentais a todo trabalho em equipe.

Calculando a Quantidade de Movimento de cada aluno

Rigorosamente, no experimento que propomos, não há conservação da quantidade de movimento, pois o sistema não é totalmente isolado, por existirem, mesmo que minimizadas o quanto possível, forças externas atuando sobre ele, tal como o atrito das rodinhas das cadeiras com o chão. Para efeitos didáticos, vamos mostrar um procedimento capaz de demonstrar experimentalmente o princípio da conservação da quantidade de movimento mesmo em um ambiente com limitações mas que nos possibilita entender como essas questões podem ser tratadas no Espaço, onde as interações ocorrem em um ambiente sem tais limitações. Para verificar se houve conservação de quantidade de movimento no experimento, há necessidade do cálculo da quantidade de movimento do sistema antes e depois do empurrão.

A quantidade de movimento do nosso sistema antes do empurrão é:

$$Q_{\text{antes}} = m_{\text{cadeira + aluno1}} \cdot \text{velocidade}_{\text{aluno1antes}} + m_{\text{cadeira + aluno2}} \cdot \text{velocidade}_{\text{aluno2antes}}$$

A quantidade de movimento do sistema depois do empurrão é:

$$Q_{\text{depois}} = m_{\text{cadeira + aluno1}} \cdot \text{velocidade}_{\text{aluno1depois}} + m_{\text{cadeira + aluno2}} \cdot \text{velocidade}_{\text{aluno2depois}}$$

No caso de ser usado *skate* ou patins, é necessário substituir a massa da cadeira pela massa do *skate* ou dos patins. Essa substituição se aplicará a todo o desenvolvimento matemático que se seguirá.

Para calcular a quantidade de movimento antes e depois da interação precisamos saber:

$m_{cadeira}$ (ou m_{skate} ou m_{patins})

$m_{aluno\ 1}$

$m_{aluno\ 2}$

$velocidade_{aluno\ 1\ antes}$

$velocidade_{aluno\ 1\ depois}$

$velocidade_{aluno\ 2\ antes}$

$velocidade_{aluno\ 2\ depois}$

Consultando fabricantes de cadeiras, a massa aproximada delas é em torno de cinco (5) quilogramas. De qualquer forma, é interessante que a massa da cadeira (ou dos skates ou dos patins) a ser utilizada na escola seja determinada antes da realização da atividade.

Cálculo da Quantidade de Movimento antes da interação

A quantidade de movimento do sistema antes do empurrão é igual a zero (pois a velocidade dos alunos é zero).

Acompanhe o cálculo (supondo a massa da cadeira igual a 5 kg, o aluno 1 com massa 40 kg e o aluno 2 com massa 50 kg):

$$\begin{aligned} Q_{antes} &= m_{cadeira + aluno\ 1} \cdot velocidade_{aluno\ 1\ antes} + m_{cadeira + aluno\ 2} \cdot velocidade_{aluno\ 2\ antes} \\ Q_{antes} &= (5 + 40) \cdot 0 + (5 + 50) \cdot 0 \\ Q_{antes} &= 0 \end{aligned}$$

Cálculo da Quantidade de Movimento depois da interação

$$Q_{depois} = (5 + 40) \cdot velocidade_{aluno\ 1\ depois} + (5 + 50) \cdot velocidade_{aluno\ 2\ depois}$$

Nessa expressão, não podemos determinar o valor de Q_{depois} como feito anteriormente, pois não sabemos as velocidades dos alunos e de suas cadeiras após a interação. Mas, considerando que:

$$Q_{antes} = Q_{depois}$$

e substituindo pelo que já foi apresentado anteriormente, temos

$$0 = (5 + 40) \cdot velocidade_{aluno\ 1\ depois} + (5 + 50) \cdot velocidade_{aluno\ 2\ depois}$$

podemos concluir que:

$$(5 + 40) \cdot velocidade_{aluno\ 1\ depois} = -(5 + 50) \cdot (velocidade_{aluno\ 2\ depois})$$

ou

$$45 \cdot velocidade_{aluno\ 1\ depois} = 55 \cdot [-] (velocidade_{aluno\ 2\ depois})$$

onde o sinal de $[-]$ antes de $velocidade_{aluno\ 2\ depois}$ é um indicativo que a velocidade do aluno 2, após o empurrão, é de sentido oposto à do aluno 1, o que pode ser facilmente verificado no experimento.

Dificuldade na determinação da velocidade dos alunos

Considerando que o objetivo de nosso experimento é mostrar algumas das implicações do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento, precisamos agora, para finalizar a atividade, determinar a velocidade dos alunos 1 e 2 após o empurrão.

É importante observar que o movimento descrito pelos alunos não é uniforme, pois inicialmente a cadeira está em repouso, com o empurrão ela se acelera, adquire uma certa velocidade, e em seguida, em função do atrito com o chão, vai-se desacelerando até voltar ao repouso. Realiza, portanto, um movimento uniformemente variado (acelerado no início e retardado no final), o que introduz algumas dificuldades concretas na determinação da velocidade.

Desconsiderando essas dificuldades, e tratando a questão apenas conceitualmente, se for determinada a velocidade dos alunos teremos:

$$45 \cdot \text{velocidade}_{\text{aluno 1 depois}} = 55 \cdot [-](\text{velocidade}_{\text{aluno 2 depois}})$$

Se o resultado do primeiro termo da equação for próximo do resultado do segundo (considerando negativa a velocidade do aluno 2 após o empurrão), podemos inferir que o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento é válido. Observe que dificilmente os resultados serão iguais, pois há muitos fatores (existência de atrito, piso irregular, dificuldade na medida do tempo, dificuldade na medida do deslocamento, etc.) que não foram levados em consideração e que influenciam bastante no resultado. Mas a expectativa é de que os resultados sejam próximos.

Uma alternativa à medida da velocidade

Considerando a dificuldade de obtenção dos valores das velocidades no experimento (tempos muito curtos e movimento acelerado), apresenta-se uma alternativa que poderá facilitar as medidas e cujo resultado poderá ajudar a atingir o objetivo, qual seja, verificar o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.

No experimento realizado, o deslocamento sofrido pelos alunos depende da quantidade de movimento que está sendo transferida na interação entre eles, que por sua vez depende da massa dos alunos mais sua cadeira e da velocidade inicial do deslocamento. Como estamos em uma situação real, as forças que impedem o deslocamento (principalmente a de atrito), fazem com que essa velocidade tenda a zero rapidamente.

Numa aproximação bastante aceitável, podemos estabelecer uma dependência entre o deslocamento e a velocidade adquirida inicialmente pelo aluno (logo após o empurrão), ou seja, é possível se verificar que quanto maior a velocidade adquirida após o empurrão, maior será o deslocamento por ele sofrido.

Tendo em vista que após o empurrão inicial cada participante fica sujeito a uma desaceleração, devida pela sempre existente força de atrito entre as

rodinhas da cadeira e o piso, podemos admitir que, sendo as cadeiras iguais, as forças de atrito serão proporcionais às reações de apoio entre elas e o piso, o que nos permite deduzir que as forças de atrito são, então, proporcionais às massas de cada conjunto aluno/cadeira. Dessa forma, podemos deduzir que ambos ficam sujeitos a uma mesma desaceleração constante e podemos, considerando a conhecida “equação de Torricelli” ($v^2 = v_0^2 + 2.a.\Delta x$) e que a velocidade final do conjunto cadeira/aluno será zero, extrair uma expressão que reflete de maneira satisfatória o que está ocorrendo, ou seja:

$$v_0^2 = -2.a.\Delta x$$

O conjunto aluno/cadeira da direita sofre um deslocamento para a direita (deslocamento positivo) e uma aceleração para a esquerda (aceleração negativa). Por outro lado o conjunto aluno/cadeira da esquerda sofre um deslocamento para a esquerda (deslocamento negativo) e uma aceleração para a direita (aceleração positiva). Portanto sempre existirá uma solução para o cálculo de v^0 pois $v^0 = \pm\sqrt{-2.a.\Delta x}$. Como as acelerações são iguais podemos afirmar que as velocidades imediatamente após o empurrão mútuo são proporcionais à expressão dada pelo resultado de \pm (raiz quadrada do módulo do deslocamento) simbolicamente por $\pm|\sqrt{d}|$.

Dessa maneira, por esta demonstração, em vez de determinarmos as velocidades dos alunos após o empurrão, mediremos os seus respectivos deslocamentos em relação à linha de referência (o deslocamento também é uma grandeza vetorial) sendo esse valor numérico usado para verificar se o Princípio de Conservação é atendido.

A nossa expressão de cálculo ficará então:

$$Q_{\text{antes}} = Q_{\text{depois}}$$

$$0 = (5 + 40).\sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 1}|} + (5 + 50).\sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 2}|}$$

$Q_{\text{antes}} = 0$ porque antes do empurrão, ambas as cadeiras estavam em repouso em relação à linha de referência.

Daí:

$$0 = 45.\sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 1}|} + 55.\sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 2}|}$$

$$45 . \sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 1}|} = -55 . \sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 2}|}$$

ou

$$45 . \sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 1}|} = 55 . -\sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 2}|}$$

Onde o sinal $(-)$ antes de $\sqrt{|\text{deslocamento}_{\text{aluno } 2}|}$ é um indicativo de que o sentido do deslocamento do aluno 2 é oposto ao do aluno 1.

Convém reforçar que a equação acima só foi usada com o intuito de facilitar a realização do experimento e é decorrente de uma adaptação às condições do experimento.

Repetir para obter bons resultados

Como qualquer processo experimental, quanto maior o número de vezes que ele for realizado, mais confiável será seu resultado. Assim, sugere-se que as mesmas medidas sejam realizadas diversas vezes, que os resultados sejam anotados e que se trabalhe com médias dos valores obtidos. Sugere-se também que os alunos, após fazerem uma medida, repitam a mesma seqüência trocando de cadeiras. Dessa forma, haverá uma distribuição dos eventuais problemas que sejam devidos a uma delas.

A tabela abaixo tem o intuito de facilitar o registro dos resultados das diversas medidas. Nela, ΔQ representa o módulo (valor sem sinal) da variação da quantidade de movimento. Esta variação é obtida encontrando-se a diferença entre Q_{antes} e Q_{depois} . Quanto menor for essa diferença, mais confiável será a verificação do Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento:

N	m_{cadeira}	m_{aluno1}	m_{aluno2}	d_{aluno1}	d_{aluno2}	$\sqrt{ d_{\text{aluno1}} }$	$\sqrt{ d_{\text{aluno2}} }$	Q_{antes}	Q_{depois}	ΔQ
1								0		
2								0		
3								0		
4								0		

m_{cadeira} = massa da cadeira

m_{aluno1} = massa do aluno 1

m_{aluno2} = massa do aluno 2

$|d_{\text{aluno1}}|$ = módulo do deslocamento do aluno 1

$|d_{\text{aluno2}}|$ = módulo do deslocamento do aluno 2

$|d_{\text{aluno1}}|^{1/2}$ = raiz quadrada do módulo do deslocamento do aluno 1

$|d_{\text{aluno2}}|^{1/2}$ = raiz quadrada do módulo do deslocamento do aluno 2

$Q_{\text{antes}} = 0$, pois não há deslocamento das cadeiras

$Q_{\text{depois}} = Q_{\text{aluno1 depois}} + Q_{\text{aluno2 depois}}$

$Q_{\text{depois}} = m_{\text{cadeira+aluno1}} \cdot |\sqrt{d_{\text{aluno1}}}| + m_{\text{cadeira+aluno2}} \cdot [-] |\sqrt{d_{\text{aluno2}}}|$

Questões

1. Quando os alunos foram à farmácia se “pesar”, eles determinaram seu peso ou sua massa? Qual a diferença entre um e outro?
2. No ambiente em que os astronautas exercem suas tarefas o peso deles não se manifesta como acontece na superfície da Terra. Parece que não têm peso nenhum! Seria possível medir o peso de um astronauta nesses ambientes? Empurrar um astronauta neste ambiente é equivalente a empurrar uma pena?

3. Qual dos experimentos dá o melhor resultado: aqueles realizados com cadeiras ou aqueles realizados com patins? Que fatores influenciam o resultado?
4. Quando um astronauta empurra um objeto dentro da nave espacial existe conservação da quantidade de movimento entre eles?
5. Quando um aluno de massa 40 kg empurra outro de massa 50 kg, qual deles se afastará com velocidade maior? E qual deles adquirirá maior quantidade de movimento após o empurrão?

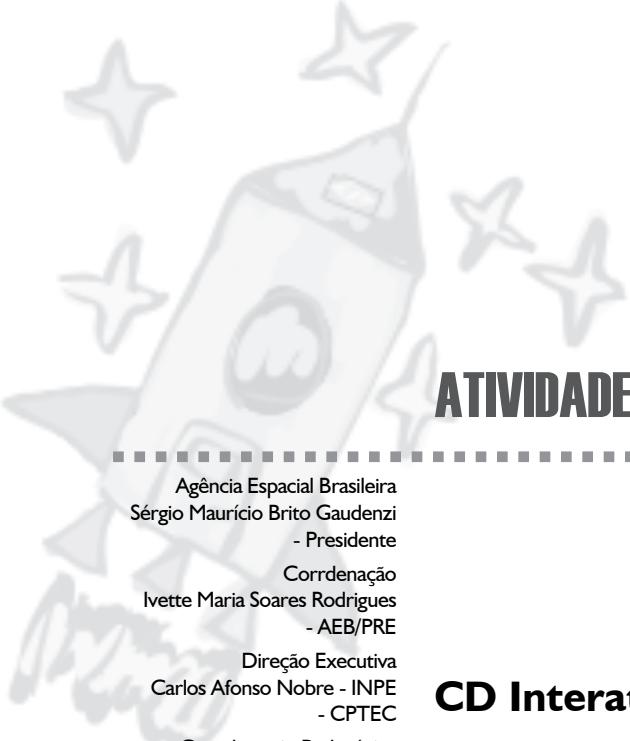
Possíveis Desdobramentos (Atividades complementares)

O professor pode mostrar um experimento com um “balão” de borracha cheio de ar, mantido, pelos dedos, preso a um corpo plástico de caneta esferográfica que deve servir de guia em um barbante esticado entre dois pontos da sala de aula. Liberando o ar, o conjunto vai à frente e o ar que escapa, à ré. Discutir com seus alunos que para se ir à frente alguma coisa deve ir para trás. Os aviões, jatos ou não, para irem à frente, lançam ar (junto ou não com o produto da combustão) para trás. Para nadar, o nadador empurra para trás a água. Um automóvel empurra o planeta Terra para trás para ir para frente! Uma estrada com pedrinhas soltas mostra, na arrancada do veículo, este fato. Uma pessoa anda para frente pelo mesmo motivo.

O professor poderá discutir a movimentação das pessoas em um hipotético ambiente em que o atrito deve ir, pouco a pouco, sendo reduzido até deixar de existir. Depois de bem abordado este caso, o professor poderá também pedir aos seus alunos para imaginarem um ambiente de microgravidade (ausência aparente de campo gravitacional). Neste local, onde não existem as forças normais de reação ao peso dos corpos que se apoiam no chão da nave espacial, não existirão as forças de atrito e, portanto, a movimentação como se dá na Terra não pode ser realizada. Lançar algo para trás movimenta um ocupante para frente. Mesmo apoiando-se em um dispositivo preso às paredes da nave; o empurrão dado no apoio leva a nave para trás e o ocupante da nave vai à frente. Se uma câmara de TV presa à nave registrar o evento, a nave não parecerá se mover pelo simples fato de que ela move-se solidariamente com a nave. Assim, o professor estabelecerá com os alunos a conexão espacial do experimento realizado.

Essas discussões podem ser conduzidas antes da atividade proposta neste texto, como motivadoras, ou posteriormente, para analisar, a partir dos resultados obtidos, as limitações em se movimentar em um ambiente de atrito nulo ou de microgravidade.

Respostas às questões:



ATIVIDADES

Agência Espacial Brasileira
Sérgio Maurício Brito Gaudenzi
- Presidente

Coordenação
Ivette Maria Soares Rodrigues
- AEB/PRE

Direção Executiva
Carlos Afonso Nobre - INPE
- CPTEC

Coordenação Pedagógica
Magda Adelaide Lombardo
- UNESP - Rio Claro

Magda Luzimar de Abreu
- UFMG - Belo Horizonte

Conteúdo
Alexandre Correa - INPE
- CPTEC

Aydano Barreto Carleal - Prefeitura Municipal de São José dos Campos - SP

Erika Zimmermann - UNB
Himilcon de Castro Carvalho
- AEB

Petrônio Noronha de Souza
- INPE - EEI

Janio Kono - INPE - CBE
Tania Maria Sausen - INPE - CEP

Desenvolvimento
Eduardo Fábio de C. Loyolla
- INPE - CPTEC

Letícia M. Barbosa de Faria
- INPE - CPTEC

Sandra Cristina Silva Buzzatto
- INPE - CPTEC

Nathalia Guimarães de Lima
Siqueira - INPE - CPTEC

Produção
Mamute Midia
www.mamutemidia.com.br

Daniel Renault, Daniela Amaral,
David Corredato, Débora

Amaral, Edmilson Bello, Flavia

Corbisier, Gian Zelada, Gustavo
Sandrini Groppo, Jonas de Sene,

Karen Zuliani Scaliaris, Leon
Santiago, Luiz Guilherme Moura,

Milla Orlandi, Paulo Pina, Renato
Inamine, Sílvio Pélico

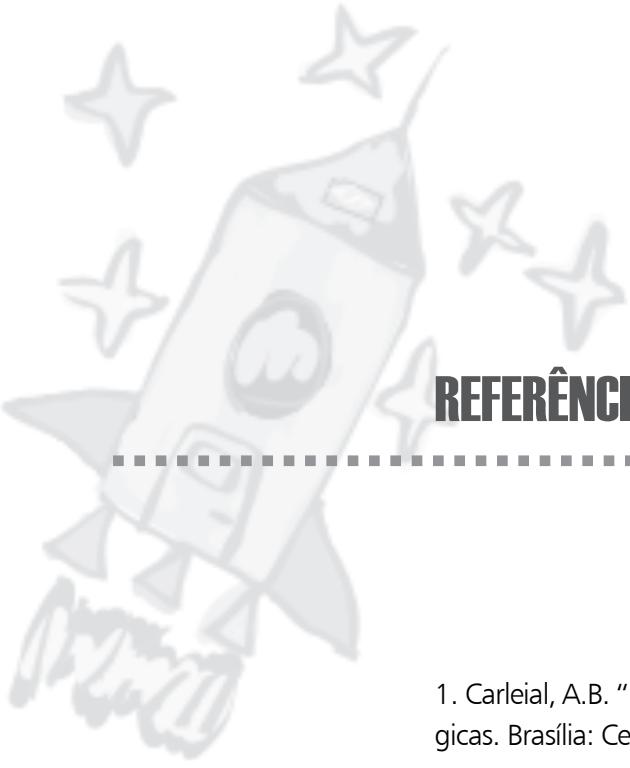
Trilha Sonora da Abertura
Lulu Camargo

Agradecimentos
Clarissa Maiorino, Dimitri
Ferreira

CD Interativo “Satélites e seus subsistemas”

Este projeto visa apresentar de forma lúdica como se projeta, desenvolve, constrói, lança e monitora seu funcionamento no espaço, bem como outras informações tão importantes quanto. Com o auxílio de um narrador, um astronauta virtual, podemos ter acesso as seguintes informações:

- Subsistemas - descrição detalhada de todos os subsistemas que compõe um satélite, no caso do exemplo ilustrado, o CBERS: estrutura; suprimento de energia; controle de órbita e atitude; propulsão; comunicação de serviço; gestão de bordo; controle térmico e cargas úteis.
- Projeto de um satélite - definição dos objetivos; elaboração das especificações; desenvolvimento e fabricação das unidades e subsistemas; montagem, integração e testes; lançamento e colocação em órbita e sua operação.
- Linha do tempo – diversos projetos espaciais desde os que se relacionaram com a segunda guerra mundial até os projetos estabelecidos até 2015.
- Astros da física – informações para entendermos melhor como os satélites se posicionam e movimentam em suas órbitas, sobre as leis de Newton, Kepler e outros.
- Laboratório – onde os alunos poderão realizar atividades sobre: sistema solar, 1^a Lei de Kepler, 2^a Lei de Kepler, Lei da gravidade, velocidade de escape, transmissão de força, ação e reação, viagem pelo universo e satélites.
- Glossário.
- Perguntas e respostas.
- Links interessantes.
- Experiências – Leis de Kepler – Movimento retrógrado dos planetas; como um satélite se mantém em órbita, maquetes de satélites e seus subsistemas e como desenhar uma elipse e seus focos.
- Sobre o projeto – a importância dos satélites, créditos e depoimento do Presidente da AEB.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carleial, A.B. "Uma Breve História da Conquista Espacial". In: Parcerias Estratégicas. Brasília: Centro de Estudos Estratégicos (CEE), n. 7, p. 21-30, out. 1999.
2. Fonseca, I.M. "O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE e o Programa Espacial Brasileiro". In: Souza, P.N.; Fonseca, I.M. "AEB ESCOLA – Programa de formação continuada de professores". São José dos Campos: INPE, 2004. (INPE-12213-PUD/165).
3. REIS, Norma Teresinha Oliveira; GARCIA, Nilson Marcos Dias. Educação espacial no Ensino Fundamental: Uma proposta de trabalho com o princípio da ação e reação. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 361-371, 2006. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/Vol28/Num3/060103.pdf>
4. Macedo, Horácio. Dicionário de Física. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1976.
5. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). "Galeria de Fotos – Satélites". São José dos Campos: INPE, 2005a. Disponível em: <www.inpe.br/programas/mecb/Port/fotos/satelite.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.
_____. "Satélite SCD-1". São José dos Campos: INPE, 2005b. Disponível em: <www.inpe.br/programas/mecb/Port/satellites/scd1/scd1-cara.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.
_____. "SCD-1 – A Missão". São José dos Campos: INPE, 2005c. Disponível em: <www.inpe.br/programas/mecb/Port/satellites/scd1/misscd12.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.
_____. "Galeria de Fotos – Solo". São José dos Campos: INPE, 2005d. Disponível em: <www.inpe.br/programas/mecb/Port/fotos/solo.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.
_____. "Galeria de Fotos – CBERS-1". São José dos Campos: INPE, 2005e. Disponível em: <www.cbers.inpe.br/pt/imprensa/fotografia.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.

_____. "Órbitas dos satélites CBERS-1 2". São José dos Campos: INPE, 2005f. Disponível em: <www.cbers.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_orbita.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.

_____. "As câmeras dos satélites CBERS-1 e 2". São José dos Campos: INPE, 2005g. Disponível em: <www.cbers.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_cameras.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.

_____. "Controle de Satélites". São José dos Campos: INPE, 2005h. Disponível em: <www.cbers.inpe.br/pt/programas/controlsat.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.

_____. "Galeria de Imagens". São José dos Campos: INPE, 2005i. Disponível em: <www.cbers.inpe.br/pt/imprensa/gimagens.htm>. Acesso em: 24 out. 2005.

_____. "Estrutura Mecânica". São José dos Campos: INPE, 2005j. Disponível em: <www.laser.inpe.br/equars/estruturamec.shtml>. Acesso em: 24 out. 2005.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). "Russian Space Stations". Houston: Johnson Space Center, January 1997. IS-1997-06-004JSC. 4p. Disponível em: <spaceflight.nasa.gov/spacenews/factsheets/pdfs/russian.pdf>. Acesso em 24 out. 2005.

_____. "A History of U.S. Space Stations". Houston: Johnson Space Center, June 1997. IS-1997-06-ISS009JSC. 4p. Disponível em: <spaceflight.nasa.gov/spacenews/factsheets/pdfs/history.pdf>. Acesso em 24 out. 2005.

Santana, C.E.; Coelho, J.R.B. "O Projeto CBERS de Satélites de Observação da Terra". In: Parcerias Estratégicas. Brasília: Centro de Estudos Estratégicos, n. 7, p. 203-210, out. 1999.

Souza, P.N. "Curso Introdutório em Tecnologia de Satélites (CITS)". São José dos Campos: INPE, abril de 2003. (INPE-9605-PUD/126).

_____. "Satélites e Plataformas Espaciais: Programa AEB ESCOLA – Formação continuada de professores". São José dos Campos: INPE, 2005. (INPE-12345-PUD/167).



APÊNDICE A

Cronologia Resumida do Programa Espacial Brasileiro¹⁰ (Versão de abril/2006)

- 1941 Criação do MAer (Ministério da Aeronáutica).
- 1946 Criação do CTA (como Centro Técnico de Aeronáutica, hoje Centro Técnico Aeroespacial).
- 1950 Início do funcionamento do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica).
- 1954 Criação do IPD (Instituto de Pesquisa Desenvolvimento).
- 1961 Criação do GOCNAE (Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais).
- 1964 Criação do OTEPE (Grupo de Trabalho de Estudos de Projetos Especiais).
- 1965 Inauguração do CLBI (Centro de Lançamento Barreira do Inferno).
CLBI, GOCNAE e NASA lançam a primeiro foguete, um *Nike-Apache*, do CLBI.
- 1966 O GTEPE passa a ser denominado GETEPE (Grupo Executivo e de Trabalho e Estudos de Projetos Especiais).
- 1967 É lançado o primeiro protótipo do Sonda I a partir do CLBI.
- 1969 O GETEPE é extinto e é criado o IAE (como Instituto de Atividades Espaciais).
Criação da EMBRAER (Empresa Brasileira de Aeronáutica).
- 1971 O GOCNAE é extinto e é criado o INPE (como Instituto de Pesquisas Espaciais).
Criação da COBAE (Comissão Brasileira de Atividades Espaciais).

¹⁰ Versão revisada e atualizada com dados extraídos de: - Souza, P.N. *Curso Introdutório em Tecnologia de Satélites (CITS)*. São José dos Campos: INPE, abril de 2003. (INPE-9605-PUD/126) - Portal da Agência Espacial Brasileira: <http://www.aeb.gov.br>

- 1976 É lançado o primeiro Sonda III a partir do OLBI.
- 1978 Início da elaboração da proposta para a MECB (Missão Espacial Completa Brasileira).
- 1980 Aprovação da MECB.
- 1983 É estabelecido o GICLA (Grupo de Implantação do Centro de Lançamentos de Alcântara).
- 1984 Lançamento do Sonda IV a partir do CLBI, primeiro foguete nacional dotado de sistema de controle.
- 1985 Criação do MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia).
- 1988 Assinatura do acordo que deu origem ao Programa CBERS.
- 1989 O MCT é extinto e é criada a SCT (Secretaria Especial da Ciência e Tecnologia).
Primeira operação de lançamento a partir do CLA, um Sonda IV.
- 1990 O INPE torna-se Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- 1991 O IAE e o IPD fundem-se e é criado o IAE (ex Instituto de Aeronáutica e Espaço).
Vôo inaugural do VS-40 a partir do CLA.
- 1992 A SCT é extinta e o MCT recriado.
- 1993 Fevereiro: Lançamento do SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados-1) com um foguete Pegasus.
Vôo inaugural do VS-40 a partir do CLA.
- 1994 Criação da AEB (Agência Espacial Brasileira)
- 1996 Agosto: AEB aprova o PNAE 1996-2005.
- 1997 Outubro: Brasil ingressa no Programa Estação Espacial Internacional (ISS).
Novembro: Primeiro lançamento do VLS-1 (Veículo Lançador de Satélites), como o SCD-2A como carga útil, sem sucesso.
Dezembro: AEB aprova o PNAE 1998-2007.
- 1998 Outubro: Lançamento do SCD-2 com um foguete Pegasus.
AEB seleciona o primeiro astronauta brasileiro.
- 1999 Outubro: Lançamento do CBERS-1 (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) e do SACI-I (Satélite Científico-1).

- Dezembro: Segundo Lançamento do VLS-1, com o SACI-2 como carga útil, sem êxito.
- Centésimo lançamento de um foguete de sondagem pelo IAE (Operação São Marcos).
- Criação do Ministério da Defesa.
- 2000 Lançamento do primeiro protótipo do foguete de sondagem VS-30/Orion a partir do CLA.
- 2002 Maio: Lançamento do HSB (*Humidity Sounder of Brazil*) como parte do satélite *Aqua* da NASA.
Realização das operações Pirapema e Cumã pelo IAE com o lançamento de um VS-30 e um VS-30/Orion.
- 2003 Fevereiro: SCD-1 completa 10 anos em órbita.
Agosto: Acidente com o terceiro protótipo do VLS-1 no CLA, causando a morte de 21 técnicos, a perda da Torre de Lançamentos, do protótipo do lançador e dos satélites SATEC e UNOSAT (Operação São Luís).
Outubro: Lançamento do CBERS-2 e início da distribuição gratuita pelo INPE das imagens CBERS do território brasileiro.
AEB lança o Programa AEB Escola.
- 2004 Março: Apresentação do “Relatório da investigação do acidente ocorrido com o VLS-1 V03, em 22 de agosto de 2003, em Alcântara, Maranhão”.
- 2005 Setembro: AEB publica revisão do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), para o período 2005-2014.
- 2006 Março-Abril: É realizada entre os dias 29/março e 8/abril a Missão Centenário, que incluiu o lançamento de Marcos Pontes, o primeiro astronauta brasileiro, em uma nave Soyus para realizar 8 experimentos a bordo da ISS.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA



INSTITUIÇÕES PARCEIRAS

Apoio:



COPPE
UFRJ



Realização:



Ministério da
Educação

Ministério da
Ciência e Tecnologia



AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Programa AEB Escola

SPO - Área 5 - Quadra 3 - Bloco Q - Salas 03 a 09 - CEP: 70610-200 Brasília DF

Fone: (61) 3411-5678 | 3411-5517

<http://www.aeb.gov.br> | e-mail:aebescola@aeb.gov.br