

## ***O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE e o Programa Espacial Brasileiro***

***Ijar M. da Fonseca***

*Material adaptado do artigo de Aydano Barreto Carleial, “Uma Breve História da Conquista Espacial”, Parcerias Estratégicas – número 7 – Outubro/1999, e material da página da Internet do INPE ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)).*

### ***História da Era Espacial e o Brasil na Conquista do Espaço***

Na imaginação humana, a conquista do espaço exterior deve ter começado 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 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.

### ***Panorama e história da pesquisa espacial***

Entre os pioneiros de estudos e experimentos em astronáutica merecem destaque Konstantin E. Tsiolkovsky, Robert H. Goddard e Hermann Oberth. Trabalhando independentemente, quase sempre com poucos recursos, eles resolveram 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 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 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, a 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 URSS pôs em órbita o segundo Sputnik, de meia tonelada, com uma cadela 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 findar 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. Por alguns anos a 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 autocritica 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, 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 se mostrou 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 espaço nove pequenos satélites tecnológicos e científicos, dois com foguete da NASA e sete com lançador próprio. 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, primeiro a 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, do qual falaremos mais adiante). 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 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 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 o presidente dos EUA 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. 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 história das andanças do ser humano no espaço exterior mereceria um relato a parte. A contribuição dos astronautas à pesquisa científica do espaço é modesta (em comparação com a das naves automáticas) e sua presença nos satélites comerciais é inteiramente 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 URSS com naves e estações tripuladas tornaram-se desproporcionalmente vultosos durante a Guerra Fria. Conseqüências dessa política persistem até hoje. O Space Shuttle e a futura estação espacial internacional resistem a todas as críticas e continuam com a parte do leão nos orçamentos da NASA. 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 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 na superfície 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 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 complexas. As naves Viking (1976) procuraram e não encontraram processos bioquímicos no solo marciano. Bem mais recentemente a nave Magalhães, 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 e ainda misteriosa 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. 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, da 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. A nave Cassini-Huygens, lançada em 1997, empreendimento conjunto NASA/ESA, deverá chegar a Saturno e ao seu satélite Titã em 2004.

O próprio espaço interplanetário, povoado de partículas, radiação e campos magnéticos, tem sido esquadrihado 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 olhar para 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.

### ***Panorama e história da pesquisa espacial no Brasil***

O Brasil oficializou seu interesse pela exploração do espaço em 1961, com a criação da CNAE, 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 Embratel, o país também foi um dos primeiros países a usar comunicações por satélites.



Entrada Principal – INPE São José dos Campos, São Paulo

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 (foguetes de propelente sólido) e quatro satélites com aplicações ambientais (dois para coleta de dados e dois para sensoriamento remoto 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 que não foram submetidos a avaliações e correções oportunas. 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. A dependência de fornecimentos externos e tecnologia estrangeira no plano de desenvolvimento do VLS, antes dissimulada, teve de ser reconhecida de público.

Em 1988 já estava patente que, além de rever a estratégia e as táticas para obter sucesso com o foguete lançador no médio prazo, era necessário providenciar algum outro meio de lançamento, no exterior, pelo menos para o primeiro satélite, cujo desenvolvimento não encontrara obstáculo. Apesar de gestões feitas nesse sentido, dado que o pessoal técnico e gerencial do CTA e do INPE dispunha de elementos suficientes para formular e propor a indispensável atualização do projeto MECB, as autoridades militares persistiram em mantê-lo engessado na sua concepção original. O impasse político só foi superado em 1991.

O primeiro satélite nacional, o SCD1, com a missão de coleta de dados ambientais, foi finalmente lançado a 9 de fevereiro de 1993 por um foguete Pegasus, que partiu de um avião da NASA enquanto este sobrevoava o Oceano Atlântico a sudeste da Flórida. O lançamento foi contratado pelo governo brasileiro de uma empresa dos EUA. Desde então o SCD1, de 110 kg, funciona em sua órbita, a 760 km de altitude, recebendo e retransmitindo dados captados no solo por pequenas estações automáticas conhecidas como PCDs (plataformas

coletoras de dados). O desempenho do SCD1 excedeu todas as expectativas plausíveis para um protótipo pioneiro desenhado e construído para funcionar por um ano com 80% de confiabilidade. O Satélite SCD1 é um satélite de Coleta de Dados e possui as seguintes características técnicas:

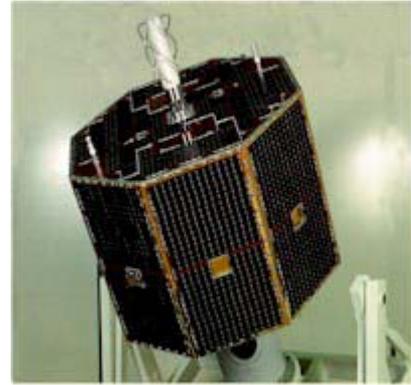
- Forma: prisma de base octogonal
- Dimensões: 1m de diâmetro, 1,45m altura
- Massa Total: 115 kg
- Potência Elétrica: 110W
- Estrutura: Painéis colméias de alumínio
- Estabilização de atitude: rotação
- Controle Térmico Passivo
- Transponder de coleta de dados na faixa UHF/S
- TT&C (Telemetria e telecomando) na banda S
- Experimento de células solares
- Órbita circular de 750 km de altitude, 25 graus de inclinação

O controle de atitude é feito por rotação, imposta pelo veículo lançador (aproximadamente 120 rpm no início, sem controle de velocidade). 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 de terra. A determinação de atitude 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 (veja figura ao lado – a superfície do satélite é coberta por células solares). Uma PCU (Unidade de Condicionamento de Potência) condiciona e direciona a energia gerada para todo o satélite. Uma bateria de níquel-cádmio (com capacidade de 8 AH) acumula energia para operação do SCD1 durante eclipse. O excesso de geração é dissipado em dois dissipadores (Shunts) localizados no painel inferior. Um conversor DC/DC e uma unidade de distribuição de potência (PDU) terminam a composição do subsistema.

O sistema de supervisão de bordo, com programação carregável a partir do solo, é constituído por dois computadores, a UPC (unidade de processamento central) e a UPD/C (unidade de processamento distribuído). 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 TT&C (telemetria, tracking e comando) 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 rastreamento e vice-versa.

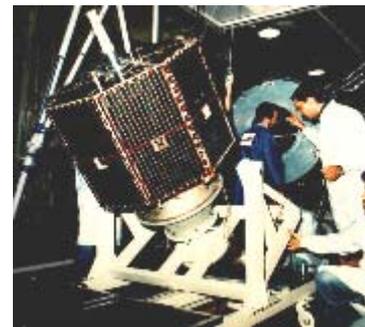
A estrutura é composta por um cilindro central calandrado em alumínio, ao qual são presos três painéis octogonais porta equipamentos. A rigidez é garantida por quatro barras inclinadas que prendem as abas do painel central à junção do cilindro com o painel inferior.



Satélite de coleta de dados SCD1



Órbita do SCD1



Integração do SCD1

Oito painéis laterais de fechamento definem a forma do satélite. A ligação com o lançador é realizada através de um flange de adaptação, usinado em alumínio.

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

A carga útil do satélite consiste basicamente 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 rastreamento.

Como desenvolvimento, voa a bordo um experimento de células solares, o qual foi inteiramente desenvolvido no Brasil visando dominar a tecnologia de fabricação de células de silício no país.

O satélite SCD1 foi lançado pelo Pegasus, em 9 de fevereiro 1993 e continua em operação superando de longe sua vida útil operacional projetada para 1 ano.

O SCD2, 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 em 1988. Mais significativo é o fato de que, enquanto a maioria dos equipamentos de bordo do SCD1 foi construída no próprio INPE, o fornecimento pela indústria privada nacional já predominou no SCD2. 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, como mostrado na figura ao lado. As PCDs são pequenas estações automáticas instaladas geralmente em locais remotos. Os dados adquiridos pelas PCDs são enviados aos satélites que os retransmitem para as estações receptoras do INPE, em Cuiabá e Alcântara. A partir daí os dados são enviados para o Centro de Missão, em Cachoeira Paulista, 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 satélite SCD2 é bastante similar ao SCD1. apresenta as seguintes características:

- Forma: Prisma de base Octogonal
- Dimensões: 1m de diâmetro e 70 cm de altura
- Massa Total: 115 kg
- Potência Elétrica: 120W Estrutura:
- Painéis colméia de alumínio
- Estabilização de atitude: rotação (34rpm)
- Controle Térmico Passivo
- Transponder de coleta de dados na faixa UHF/S
- TT&C na banda S
- Experimento de células solares
- Experimento de roda de reação



SCD1 e as PCDs

- Órbita circular de 750 km de altura, 25 graus de inclinação

O satélite SCD2, da mesma forma que o SCD1, tem como carga útil principal um transponder de coleta de dados, cuja função é retransmitir os dados recebidos pelas PCDs. Dada a nova atitude em órbita, não são mais necessárias antenas de recepção no painel inferior do satélite, havendo apenas quatro monopolos em UHF no painel superior. A transmissão dos dados para as estações é feita com maior eficiência, uma vez que são adotadas polarizações inversas para as antenas quadrifilares em banda S localizadas nos painéis superior e inferior.

No SCD2 o controle de atitude também é feito por rotação. Dada a utilização de duas novas bobinas magnéticas, a velocidade pode ser controlada entre 32 e 36 rpm. Os demais equipamentos são similares ao SCD1.

A geração de potência, utilizando painéis solares de silício fabricados já por empresa brasileira, é feita somente a partir dos painéis laterais, dada a atitude do satélite em órbita. A concepção geral deste subsistema é essencialmente a mesma do SCD1. A concepção da supervisão de bordo foi otimizada, realizando as mesmas funções com o utilização de apenas um computador, o OBC (On-board computer – computador de bordo). O subsistema de TT&C é composto por um conjunto de equipamentos equivalentes aos do SCD1, sendo que um transponder de banda S foi provido por empresa brasileira e o decodificador de telecomandos fabricado no INPE.

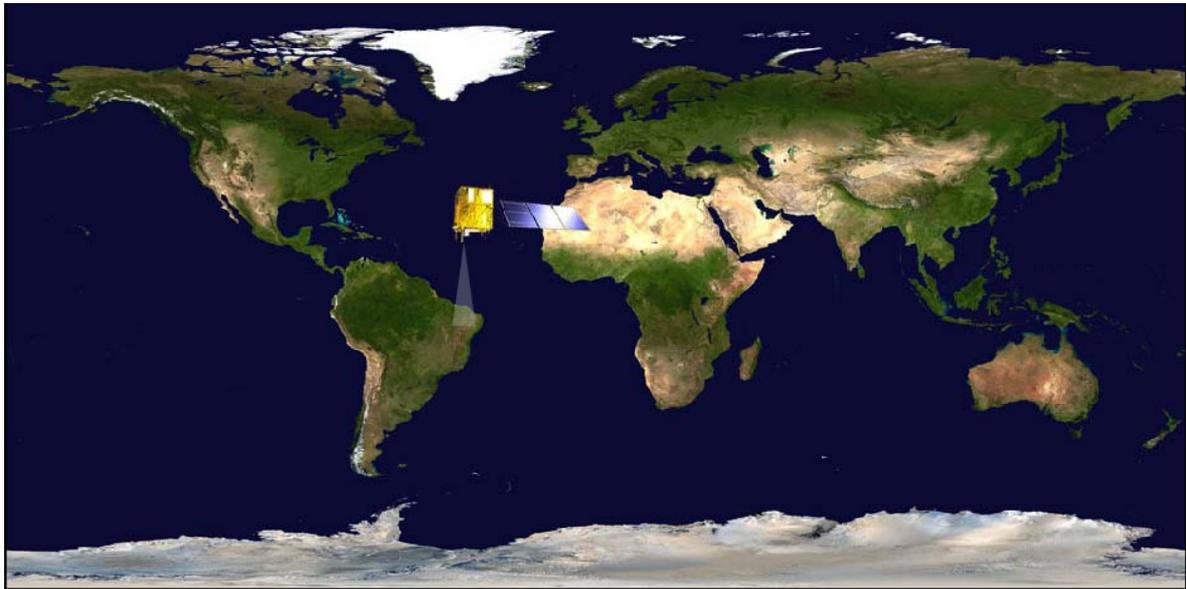
Os subsistemas de estrutura e controle térmico são também muito semelhantes aos do SCD1. Há pequenas diferenças decorrentes apenas do diferente arranjo físico de equipamentos entre os dois satélites. Como desenvolvimento, voam a bordo do SCD2 um experimento de células solares mais sofisticado e um protótipo de uma roda de reação (ERR). O experimento ERR, desenvolvido pelo INPE, objetiva atingir a qualificação nacional em sistemas espaciais com partes móveis lubrificadas acopladas a um motor. Em termos de índice de nacionalização, para um valor de 73% para o SCD1, chegou-se a 85% para o SCD2. Adicionalmente, a participação de empresas brasileiras passou de 9% no SCD1 para 20% no SCD2, consagrando a diretriz do INPE de transferência de tecnologia para a indústria nacional. Lançado no dia 22 de outubro de 1998 novamente utilizando um Pegasus, o SCD2 desde o início de sua vida em órbita já vem desempenhando sua missão de coleta de dados, continuando e ampliando o serviço prestado pelo SCD1. Apesar de se especificar uma vida útil de dois anos, acredita-se que este período também venha a ser em muito excedido, conforme vem ocorrendo com o SCD1.

Também fez parte prevista do sistema de coleta de dados o satélite SCD2-A, equivalente em configuração ao SCD2. O SCD2-A deveria ser lançado ao espaço a partir do Centro de Lançamento de Alcântara, no Maranhão, utilizando o VLS (Veículo lançador de Satélites), provido pelo IAE/Maer. Desta forma, estaria se cumprindo a premissa da MECB de lançar satélites brasileiros com veículos lançadores nacionais a partir de uma base em território do Brasil. Entretanto o lançamento do SCD2-A não se concretizou porque houve falha no lançamento. Não ocorreu a ignição de um dos 4 motores laterais do VLS. Foi necessário explodir o foguete (em trajetória errada) por razões de segurança perdendo-se assim o satélite SCD2-A.

Os dados coletados pelos satélites SCD1 e SCD2 estão sendo usados para aplicações como alimentar os modelos de previsão de tempo do CPTEC, estudos sobre correntes oceânicas, marés, química da atmosfera, planejamento agrícola, entre outras. Uma aplicação importante dos satélites é o monitoramento das bacias hidrográficas através das plataformas da ANEEL, que adquirem dados fluviométricos e pluviométricos.

Atualmente há cerca de quinhentas PCDs em operação no território brasileiro e algumas em território de países vizinhos. Este número, que só cresceu recentemente, é ainda

muito pequeno em relação à capacidade dos satélites. Uma PCD típica é mostrada na figura ao lado.



Satélite CBERS

### *Projeto conjunto Brasil-China para desenvolvimento de satélites de recursos terrestres*

Paralelamente ao programa de foguetes e satélites nacionais da MECB, em 1.988 o Brasil começou um outro projeto, em cooperação com a China, cujo objetivo é desenvolver, lançar e operar satélites de médio porte (uma tonelada e meia) para sensoriamento remoto de recursos naturais. O Programa CBERS (China-Brazil Earth Resource Satellite – Satélite de Recursos Naturais China-Brasil ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Naturais) nasceu de uma parceria inédita entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo



Imagem do plano piloto de Brasília, feita pelo CBERS

de Países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto. Desta forma, obteve uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto, buscando consolidar uma importante autonomia neste segmento.

Os satélites serão lançados por foguetes chineses. O acordo binacional previu 30% de participação financeira do Brasil nos satélites e nos lançamentos. A união entre os dois países

é um esforço bilateral para derrubar as barreiras que impedem o desenvolvimento e a transferência de tecnologias sensíveis impostas pelos países desenvolvidos. A parceria conjunta rompeu os padrões que restringiam os acordos internacionais à transferência de tecnologia e o intercâmbio entre pesquisadores de nacionalidades diferentes.

O primeiro satélite desenvolvido, o CBERS-1, foi lançado com grande sucesso pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamento de Taiyuan em 14 de outubro de 1999. O lançamento ocorreu à 1h15 (horário de Brasília). O satélite é composto por dois módulos. Um é a “carga útil”, onde são acomodadas as 3 câmeras (CCD – Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução e WFI – Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada) e o Repetidor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais. O outro é o “serviço”, que contém os equipamentos que asseguram o suprimento de energia, os controles, as telecomunicações e demais funções necessárias à operação do satélite. Sua órbita é hélio-síncrona a uma altitude de 778 km, e faz cerca de 14 revoluções por dia, e consegue obter a cobertura completa da Terra em 26 dias.

O CBERS-2 é tecnicamente idêntico ao CBERS-1. O segundo satélite desenvolvido em conjunto com a China, O CBERS-2 foi lançado com sucesso no dia 21 de outubro de 2003, partindo do Centro de Lançamento de Taiyuan, na China. O horário do lançamento foi às 11:16h (horário de Pequim), o que corresponde a 1:16h em Brasília. O CBERS-2 foi integrado e testado no Laboratório de Integração e Testes do INPE.

A figura anterior mostra um foto feita pelo CBERS da região de Brasília, evidenciando o plano piloto.

### ***O Programa Brasileiro de Pequenos Satélites***

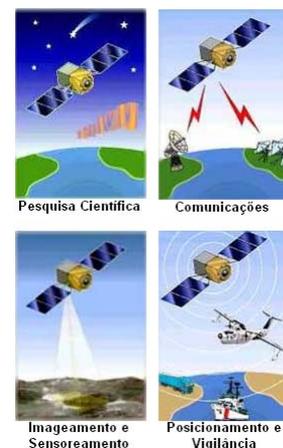
Após o sucesso do SCD1 outros projetos de pequenos satélites científicos e de aplicações de engenharia conseguiram apoio no Brasil e estão em fases de estudo ou desenvolvimento, na maioria dos casos com parceiros estrangeiros. Um fato importante no projeto Brasil-China foi que o lançamento do CBERS1 levou também ao espaço, de carona, o primeiro satélite científico brasileiro, o SACI-1 (figura ao lado) de apenas 60 kg, construído pelo INPE em cooperação com outras instituições de pesquisa nacionais. 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. A serie SACI foi interrompida com a perda do SACI-2, devida a falha no veículo lançador brasileiro, o VLS. Durante o lançamento houve falha na ignição do segundo estágio do VLS e perdeu-se o satélite.

Atualmente o programa de pequenos satélites está desenvolvendo uma plataforma multimissão, PMM e o satélite EQUARS. (Equatorial Atmosphere Research Satellite – Satélite de Pesquisa da Atmosfera Equatorial).

A Plataforma Multimissão (PMM) se baseia no princípio de satélites, tais que qualquer que seja sua carga útil, possam realizar funções tais como:



Satélite SACI-1



- 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 Multimissão (PMM) 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 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 multimissão, isto é independente da missão específica ela é facilmente adaptável a cada aplicação, como é o caso da PMM da MECB ou do projeto PROTEUS do CNES. Esta plataforma serve de base, por exemplo, para o desenvolvimento do satélite EQUARS.

- Configurações do EQUARS
- Órbita: Equatorial, Altitude 750 km (LEO), inclinação 20°
- Massa total: 130 kg
- Volume: 60 x 70 x 80 (em cm)
- Consumo de energia: 145 W
- Posicionamento do satélite: geocêntrico, com precisão de 1°
- Controle de atitude: ativo, 3 eixos
- Data storage: 1800 Mbits/ 24 h



Satélite de Pesquisa da Atmosfera Equatorial – EQUARS

A figura ao lado indica, nas bandeiras, as participações internacionais do Canadá, Japão e Estados Unidos.

A missão científica do EQUARS refere-se ao monitoramento global da atmosfera na região equatorial, enfatizando processos dinâmicos, fotoquímicos, e mecanismos de transporte de energia entre a baixa, média e alta atmosfera e ionosfera. Tópicos a serem investigados:

- Monitoramento da atmosfera equatorial
- Troposfera : Vapor d'água e convecção de nuvens
- Estratosfera: Variação da temperatura
- Mesosfera: Propagação de ondas e temperatura
- Ionosfera: Geração e propagação de bolhas de plasma

O satélite EQUARS vai fornecer dados que serão úteis nos estudos do clima espacial, atmosférico e nos estudos climáticos. Trata-se de um projeto de colaboração do INPE com várias instituições brasileiras e estrangeiras e o cronograma prevê seu lançamento em meados de 2006. O projeto do satélite científico EQUARS do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais contará com a participação de pesquisadores canadenses da área de ondas de gravidade. Para definir aspectos da participação do grupo canadense GWIN-Gravity Wave Imager, da Universidade Western Ontario, estiveram no Canadá os pesquisadores do INPE Hisao Takahashi e Himilcon Carvalho. Na ocasião, eles apresentaram o projeto e mostraram a

importância da participação dos canadenses, ficando definida a colaboração bilateral com o grupo e que terá o apoio da agência espacial daquele país. A missão científica, divisão de tarefas e o esquema de colaboração na área de radares de superfície foram acertados durante a visita aos canadenses.

Há grandes oportunidades para um papel cada vez mais significativo do Brasil na exploração do espaço nos próximos anos. Já temos experiência, infra-estrutura e empresas que poderão gradualmente constituir uma indústria espacial nacional competitiva, capaz de trabalhar em pé de igualdade com as empresas estrangeiras. Temos uma forte demanda por novos serviços de satélites, que pode ser atendida por sistemas concebidos por nossos cientistas e engenheiros e realizados com participação efetiva da indústria nacional. A capacidade de lançamento nacional de pequenos satélites também poderá ser conseguida.

### ***A Participação Brasileira no Projeto da Estação Espacial Internacional (EEI)***

A participação brasileira no programa da Estação Espacial Internacional (EEI) irá possibilitar que universidades e centros de pesquisa brasileiros realizem experimentos científicos avançados beneficiando-se do ambiente de micro-gravidade. A Agência Espacial Brasileira (AEB) e a Academia Brasileira de Ciências (ABC), coordenarão a seleção dos experimentos brasileiros a serem embarcados na EEI.



Em troca dos equipamentos e serviços que fornecerá para a EEI, o Brasil terá direito à usar suas instalações durante toda sua vida útil. Os direitos de utilização para o Brasil foram estabelecidos pelo Ajuste Complementar assinado entre a AEB e a NASA em outubro de 1997. Como resultado da participação brasileira no projeto, o Brasil tem um astronauta sendo treinado pela NASA para participar dos trabalhos na EEI em órbita.

### ***Panorama e história da pesquisa – novos rumos dos programas espaciais no mundo***

Para concluir esta breve história, cabe um comentário sobre os novos rumos dos programas espaciais em todo o mundo. No retrospecto, parece que a exploração espacial, como aventura heróica da espécie humana, atingiu o ápice na saga da Apollo 13 (abril de 1970) e depois perdeu muito do seu ímpeto. Em certa medida isto seria consequência natural e inevitável do amadurecimento. Do lado positivo, é inegável que de 1970 até hoje houve enorme evolução tecnológica e desenvolvimento industrial na área, ao lado de grande progresso científico. Sem a tecnologia espacial e os sistemas de satélites o mundo de hoje não funcionaria. Como já ficou dito, a cooperação internacional aos poucos foi se sobrepondo à competição, e os empreendimentos comerciais ganharam vulto. Todavia ainda é predominante em todo o mundo a participação governamental nos investimentos espaciais, não apenas nas aplicações de interesse militar (cuja importância não diminuiu, pois são vitais para vigilância, navegação e comunicações) mas também nas civis. A exploração científica do espaço, a meteorologia por satélites, aplicações da área ambiental, a localização para busca e salvamento e outros serviços semelhantes, de benefício difuso ou de caráter estratégico,

tradicionalmente têm sido campo de atuação dos Estados, embora a iniciativa de organizações não-governamentais e empresas privadas venha se expandindo em alguns desses setores. Os serviços comerciais de lançamento por meio de foguetes já estão essencialmente privatizados, acompanhando as telecomunicações por satélites e a própria indústria produtora de equipamentos e sistemas espaciais.

O Brasil deve ficar atento a essas tendências, buscando pela integração competitiva capacitar e fortalecer sua indústria. Deve também manter no âmbito estatal não apenas a capacidade de formular políticas e programas de interesse nacional para o setor, mas também uma base científica, tecnológica e gerencial, com pesquisadores, engenheiros e técnicos de alto nível (que não precisam ser estatutários do serviço público) reunidos em centros de excelência, a exemplo do que têm feito os países mais desenvolvidos.

### ***Como Funcionam os Satélites***

Satélites artificiais giram ao redor da Terra. 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 podem ser baixas ou altas. Por exemplo uma altitude de 700 km define uma órbita baixa, enquanto que, uma órbita de 36.000 km define uma órbita alta. O satélite se mantém em órbita devido ao equilíbrio entre as forças centrífuga e gravitacional. Quando estas forças se igualam o veículo se comporta como se estivesse “preso” em sua órbita. Nesta configuração o ambiente é de micro gravidade, ou seja, a gravidade é muito baixa e os corpos e objetos flutuam no espaço. Mas as órbitas sofrem alterações ao longo do tempo pois outras forças atuam sobre o satélite. Dentre elas temos a atração 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. Dentre estes dispositivos podemos citar os jatos de gás, por exemplo. São necessários pequenos motores para corrigir a órbita dos veículos espaciais. A altitude baixa ou alta é definida em função da missão do satélite. Por exemplo, um satélite de comunicação tipo os que são utilizados para transmissão de TV precisam estar muito altos. Note que quando mais alto maior a trajetória do satélite em torno da Terra. Quanto maior for a altitude maior será o tempo para dar uma volta ao redor da Terra. Existe uma altitude na qual o satélite demora exatamente 24 horas para dar uma volta ao redor da Terra. Esta órbita está aproximadamente 36 mil Km de altitude e é chamada geoestacionária. Como nesta altitude as velocidades orbital e de rotação da Terra são as mesmas, o satélite estará sempre na mesma posição em relação a Terra. Estas órbitas são apropriadas para satélites de comunicação pois podemos manter uma câmera sempre apontada para uma mesma região da Terra sem maiores problemas. Órbitas mais baixas são apropriadas para satélites de exploração científica, de engenharia e de espionagem. As órbitas podem ainda ser equatoriais, inclinadas entre o equador e os pólos, ou polares. Na verdade 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.

Existe um outro tipo de movimento do satélite que se refere ao seu movimento em torno do seu centro de massa. Imagine a Terra girando no espaço. O movimento de translação em torno do sol é o seu movimento orbital. O movimento de rotação da Terra se refere ao seu movimento em torno do seu centro de massa. O movimento 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 se tenha o satélite comportando 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 durante toda a vida do satélite, então temos que controlar sua atitude de tal forma que a antena fique apontada para a Terra. Se uma face do satélite tem que ficar apontada para o Sol para, por exemplo, captar energia solar, então temos que controlar o movimento de atitude do satélite de tal forma que aquele requisito seja satisfeito. A necessidade de controle da 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 podemos estabilizar o satélite por rotação de tal forma a manter uma face do satélite em uma certa direção. Uma das formas de fazer isto é rotacionar o satélite. Ocorre algo semelhante ao que ocorre quando brincamos 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 do atrito com o ar e o atrito na ponta, que é o suporte para seu movimento rotacional. No espaço o atrito do ar é muito mas muito pequeno. 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. Os satélites brasileiros SCD1 e SCD2 foram colocados em órbita girando como um pião. O SCD1 foi estabilizado por rotação a 120 rpm. Está no espaço a mais de 10 anos e sua rotação só caiu para aproximadamente 50 rpm durante este tempo. O SCD2 foi estabilizado a 30 rpm. Muitas missões requerem controle 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 empuxo, bobinas magnéticas para torque (temos algo semelhantes no motor de arranque de nossos carros), e rodas de reação, que usam o princípio da lei de ação e reação de Newton. As bobinas magnéticas combinam propriedades magnéticas com propriedades elétricas (Neste caso o satélite precisa de bateria elétrica, como nosso carro) para gerar torques e girar o satélite para as posições desejadas. Rodas de reação também são usadas para isto. Existe um aspecto associado a Dinâmica de Satélites que difere das situações em terra. As forças e torques aplicados ao corpo do satélite ocorrem em ambiente de gravidade zero. 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 por exemplo com as rodas de reação, que giram quando o satélite sofre um torque externo, absorvendo assim o efeito indesejado do torque externo. Por outro lado, estas rodas podem ser intencionalmente aceleradas para fazer o satélite girar no sentido contrário.

### ***Projeto Brasileiro – AEB Escola – A Participação do INPE***

Países com grande avanço na conquista do espaço como os Estados Unidos desenvolvem programas educacionais visando preparar os futuros cidadãos para compreenderem melhor as razões para se investir na conquista do espaço e ao mesmo tempo para despertar e estimular nos jovens o interesse científico pela conquista do espaço. A NASA desenvolveu um programa não apenas para educar crianças e adolescentes para o espaço mas também para educar e preparar educadores para atuarem junto aos estudantes na área espacial. Por exemplo, a NASA tem uma página na Internet voltada para educadores (professores) na área espacial (<http://www.nasa.gov/audience/foreducators/>).

O Brasil começa formalmente este processo educativo com o programa AEB Escola. O projeto envolve professores e estudantes do ensino fundamental e de segundo grau.

Este projeto adquire maior importância quando consideramos que a Terra é o nosso lar comum. A casa de todos os humanos. O desenvolvimento tecnológico trouxe um progresso

fabuloso representado na geração de hoje pelos avanços em todas as áreas da ciência e na indústria em geral. Chegou a era da Inteligência Artificial e da robótica, da informática e automação em geral. Por outro lado este progresso vem sendo acompanhado de preocupações cada vez maiores com a ecologia, com a preservação das condições de vida na Terra, o nosso único lar. A preservação do verde, da qualidade do ar que respiramos; a preservação da incrível variedade de vidas na superfície, interior e sob águas na Terra é hoje uma preocupação mundial. Somente a educação poderá trabalhar de forma eficiente no sentido de conscientizar que a exploração do solo, das águas, da vegetação em cada país deverá ser feita de modo a preservar a Terra, nosso único lar comum. A educação para o espaço tem um papel muito importante neste sentido. A conquista do espaço nos mostra o quão distante e solitários estamos no universo. Não temos vizinhos como se têm cidades e países próximos um do outro. Nosso planeta ainda é azul e cheio de vida. Ainda temos rios, mares e solo vivos. Neste sentido o núcleo de satélites contribui com informações sobre o projeto espacial brasileiro e sua importância fundamental para que o Brasil compreenda seu meio ambiente, sua natureza e suas cidades e conduza o progresso de forma a preservar nosso único lar: a Terra.