

M-266, 1992

tinha concordado com a necessidade de montarmos um grupo especializado em satélites. Esse grupo foi constituído sob minha coordenação, em 1976. Convidei Otávio Maizza Neto e Atair Rios Neto, da Poli, e reunimos os melhores alunos do ITA e da Poli para trabalharem no grupo, que chamou-se Departamento de Sistemas Espaciais. Os dois elementos desse grupo, que considero de maior projeção, e que ainda estão no Inpe, são Décio Castilhos Ceballos (da Poli) e Marcelo Lopes de Oliveira (do ITA).

Após alguns meses, veio à baila o projeto francês de desenvolvimento do satélite com transferência de tecnologia para o Brasil, que foi aprovado e iniciado em 1978. Eu ia nessa época duas vezes por semana ao Inpe para coordenar o grupo. Parei em 1979. Atair passou à chefia, sendo convidado Agenor Fleury para participar do grupo em 1980.

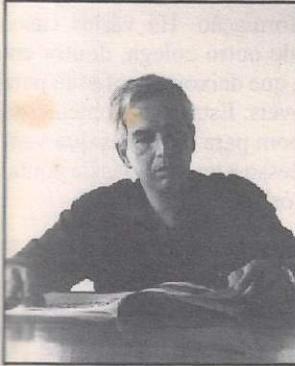
Hoje ainda sou consultor na área de Mecânica Celeste, mas não atuo mais na área espacial brasileira. O satélite brasileiro constitui uma experiência importante. Muitos criticam-no, dizendo que é tecnologia de prateleira, primitiva. Isso é verdade, mas é assim que se começa. Seria

uma piada querer construir algo mirabolante sem ter realizado o mais simples. Este é nosso caminho. Não conheço outra forma de adquirir experiência. Quanto ao sistema de lançamento do satélite, penso que os problemas foram mais internos do que externos. No Brasil temos uma enorme incompetência administrativa. Se outros países não quiserem fornecer certos componentes, temos de formar pessoal competente e fazê-los aqui. Entretanto, é preciso investir e manter uma política salarial estável, o que tem parecido impossível. Considero a política salarial atualmente praticada pelo governo federal um desastre. Vários professores do ITA estão saindo daquele instituto devido aos salários aviltantes, o mesmo acontecendo no Inpe. Esse pessoal competente que está deixando a área constitui uma perda irreversível. Demoraremos mais dez ou vinte anos para formar novo pessoal competente, quando decidirmos começar de novo. Nossa problema é cultural. O governo precisa investir em educação não apenas superior, mas desde o curso básico, desde a infância. Como você acha que a Índia e a China fizeram seus foguetes? Queixar-se de interferências externas de nada adianta."

*Serviço de Biblioteca
Biblioteca de Engenharia Mecânica, Naval e Aeronáutica*



Como funciona o satélite brasileiro



Agenor de Toledo Fleury

De maneira simplificada, para colocar um satélite em órbita é preciso em primeiro lugar lançar um foguete de vários estágios, em movimento balístico, até o ponto de máxima altura da parábola, que é o chamado ponto de injeção do satélite em sua órbita. Injetá-lo na órbita com sucesso significa imprimir a velocidade adequada neste justo ponto. Movimentos indesejáveis devem ser corrigidos através de sistemas de controle. Uma vez em sua órbita, o satélite deve apresentar um movimento de altitude (rotação em torno do centro de massa) correto, ou seja, ele deve estar posicionado de forma que maximize a probabilidade de contato com os sistemas da Terra. Isto implica, por exemplo, na manutenção da posição correta dos painéis solares em relação ao sol e no apontamento de câmeras e antenas.

O primeiro satélite brasileiro — o SCD-1 — não terá câmeras, pois é um retransmissor de dados meteorológicos. Os painéis solares captam energia solar que, após convertida em energia elétrica, dá potência interna ao satélite, permitindo o funcionamento de seus equipamentos. Entre

os vários sistemas internos há os de telecomunicação de serviço e os de carga útil. Os primeiros referem-se aos dispositivos do satélite, controlados por um sistema de supervisão de bordo, que é um computador pré-programado e pode ser alterado por comandos de terra. Os sistemas de carga útil coletam os dados, armazenando-os até que possam ser enviados à central de recepção em Cuiabá, pois a comunicação só é liberada dentro de condições favoráveis de visibilidade do satélite pela antena da Terra.

Agenor de Toledo Fleury, professor da Poli-USP, projetou sistemas de controle para os satélites brasileiros, coordenando as atividades do Laboratório de Controle de Altitude e de Órbita do Inpe a partir de 1981. De início, em função do trabalho conjunto com a França e da determinação do Brasil de desenvolver sozinho seu programa espacial, pensou-se em estabilizar o satélite por meio de um grande mastro acoplado, cuja tecnologia não era disponível no país. Esta idéia foi abandonada em 1986, quando o Inpe decidiu simplificar o projeto, de modo a depender o menos possível de componentes não disponíveis no Brasil. Optou-se por estabilizar o satélite dando a ele um movimento giratório, o chamado *spin*, com velocidade de 140 rpm ao redor do eixo de seu vetor velocidade. Com o spin, o satélite adquire rigidez giroscópica, que permite a absorção de desvios de sua altitude devido a torques ambientais gerados pelo atrito com moléculas gasosas ainda existentes na altitude da órbita do satélite.

Torques gerados pelo atrito com moléculas gasosas desviam o satélite de sua rota

(SPP) Ked) 18-001

Na nova configuração, o Inpe assumiu desenvolver no país a maior parte dos componentes do Sistema de Controle de Atitude do satélite: o amortecedor de nutação, a bobina de torque e os sensores solares. Este último serve para medição da *atitude* do satélite a partir da posição em relação ao Sol, tendo sido desenvolvido em conjunto com o Laboratório de Microeletrônica da Poli-USP. Outro componente para determinação de *atitude*, o magnetômetro, mede-a a partir do campo magnético da Terra e teve de ser comprado nos EUA. Fleury salienta, no entanto, que hoje o Inpe já dispõe de tecnologia para sua fabricação.

A bobina magnética de torque realiza uma manobra de correção de atitude após alguns meses do lançamento. Esta mudança de atitude serve para reposicionar o satélite, evitando que o sol, devido a seu movimento de equinócio, aqueça e queime partes sensíveis do satélite. O amortecedor de nutação serve para garantir que o satélite entre em órbita, já com seu movimento de spin, na direção prevista no projeto, corrigindo eventuais movimentos distorcivos de nutação.

Fleury conta que o desenvolvimento do amortecedor exigiu a confecção de um sistema de testes, de cuja viabilidade mesmo famosos consultores do exterior duvidaram. Montou-se no Laboratório de Controle de Atitude de Órbita do Inpe um simulador esférico aerostático motorizado, com apoio da Escola de Engenharia da USP de São Carlos. Fleury considera este simulador "mundialmente inédito". Sua função mais importante era testar o amortecedor, submetendo-o às condições do que ele encontrará no espaço. Os torques a que estará sujeito o satélite serão da ordem de 10^4 Nm, um valor muito baixo e difícil de reproduzir em laboratório. O simulador é constituído por uma plataforma que carrega o amortecedor, acoplada a uma esfera giratória, colocada sobre

uma contra-esfera a uma distância muito pequena. Para que comece a funcionar, um motor é ligado, fazendo girar o conjunto; em seguida, o ar é injetado e o motor desligado, evitando-se qualquer contato com a plataforma. Entre a esfera e a contra-esfera, o ar, injetado a uma certa pressão, forma um fino colchão sobre o qual a esfera pode girar, em qualquer direção, com torques reativos de valores muito baixos. É dado um impulso na plataforma, para simular o movimento de nutação. Mede-se o decaimento desse movimento, provocado pelo amortecedor, e compara-se com resultados obtidos por simulação em computador, para garantir que o funcionamento do amortecedor esteja correto. Fleury conta que "não foi fácil, mas conseguimos. O mais importante é que decidimos fazer algo que nunca havia sido feito anteriormente, devido às características particulares do SCD-1, que é injetado em órbita já com spin em 140 rpm. Nunca faríamos isso se tudo fosse comprado pronto no exterior. Nós criamos tecnologia, resolvemos os nossos problemas e, principalmente, criamos competência. Isso jamais poderia ser comprado do exterior. É um aprendizado próprio". Fleury chama também a atenção para o perigo de formar pessoas de alta competência e perdê-las "pela falta de decisão de criar tecnologia no país ou em função de baixos salários: veja o caso do responsável pelo projeto do simulador esférico, Luis Vitor Cardieri, um pesquisador extremamente original, formado na Poli. Hoje está trabalhando em área completamente fora de sua formação. Há vários casos como esse, como o de outro colega, doutor em engenharia pela Poli, que deixou a profissão para abrir uma loja de móveis. Esta competência está se perdendo. Isso é bom para os países que vendem caro qualquer acesso a tecnologias de ponta. Só não é bom para nós". ■

Poli desenvolveu sensor do SCD-1

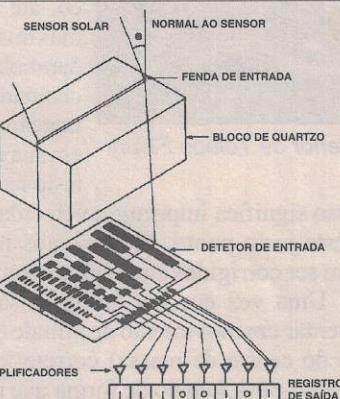
O Laboratório de Microeletrônica da Poli-USP assinou, na década de 80, dois convênios de colaboração científica com o Inpe para desenvolver projetos para a Missão Espacial Brasileira. O primeiro, iniciado em 1986, teve como objetivo desenvolver e fabricar um sensor para posicionar o satélite. O segundo, de 1989, realizou experimentos com células solares. O coordenador desses projetos é o professor Adnei Melges de Andrade, do Depto de Engenharia Eletrônica da Poli-USP e diretor de Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da USP. No Inpe, a coordenação da montagem e da área de eletrônica digital esteve a cargo do engenheiro Mário Selingardi.

Segundo Melges de Andrade, o detector utilizado como sensor de atitude é um dispositivo que informa a posição angular do satélite em relação ao Sol (o satélite é estabilizado por rotação). O posicionamento correto do satélite em relação ao Sol garante que sejam

alcançadas as condições ótimas para carregamento das baterias solares e para que as antenas terrestres e as do satélite tenham um posicionamento adequado para a transmissão de informações.

O detector desenvolvido na Poli consiste em um conjunto de fotodiodes integrado. Sobre este chip incide um feixe de luz que passa por um bloco de quartzo, que tem na sua face frontal uma camada de níquel e ouro com fenda de 100 micrônmetros de largura (por onde a luz penetra). A luz do sol é difratada no quartzo, incidindo no conjunto de fotodiodes disposto na configuração do código de GRAY, o que gera uma palavra de 9 bits, que por sua vez informa com precisão de 0,5 graus (na primeira versão, e 0,15 graus na segunda) a posição do satélite em relação ao sol.

Quanto ao desenvolvimento do sistema do experimento Célula Solar, o convênio assinado entre a Poli e o Inpe baseou-se na



pesquisa de três trabalhos de doutorado. Em uma das teses foram desenvolvidas técnicas de monitoramento, em tempo real, das células solares que estão alimentando o sistema; a energia solar é a única fonte possível de suprimento do satélite. Outra pesquisa desenvolveu células solares de alta eficiência, com maior resistência a danos por radiação — aliás abundante na órbita do satélite e que tende a degradar os sistemas eletrônicos.