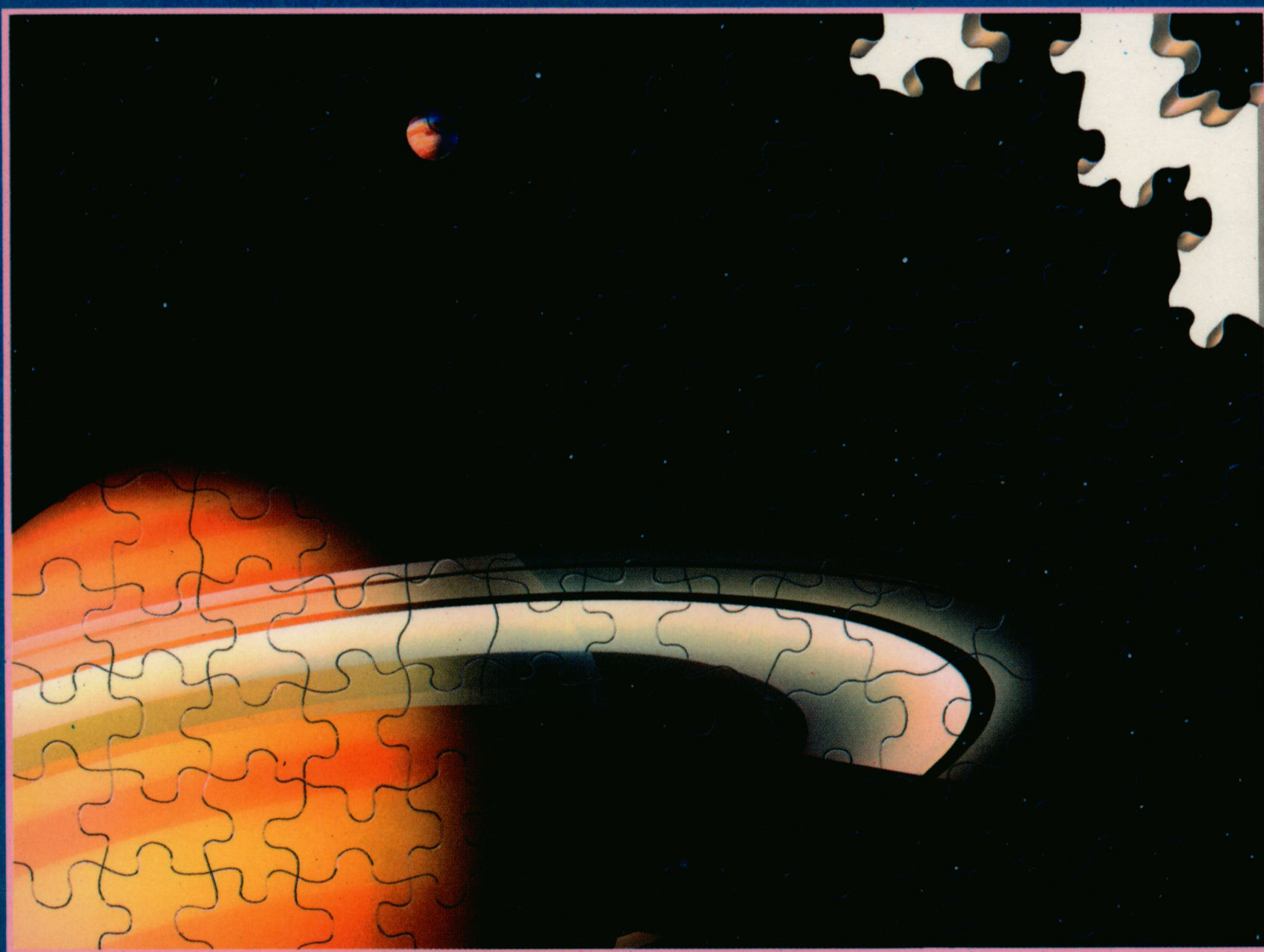


E N T E N D A O COMPUTADOR

COMPUTAÇÃO ESPACIAL



NOVA CULTURAL

E N T E N D A O

COMPUTADOR

COMPUTAÇÃO ESPACIAL



NOVA CULTURAL

Authorized Portuguese Edition © 1988, Editora
Nova Cultural S.A. Original edition © 1985
Time-Life Books Inc. All rights reserved.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida
por qualquer meio, seja eletrônico ou mecânico,
inclusive por equipamentos ou sistemas de classificação
de informações e pesquisa, sem a prévia autorização da
editora, exceto curtos trechos para resenhas, desde que
com o devido crédito.

Time-Life is a trademark of Time Inc., U.S.A.

Edição organizada pela Editora Nova Cultural Ltda.
Av. Brigadeiro Faria Lima, 2000 — 3º andar
CEP 01452 — São Paulo — SP — Brasil
(Artigo 15 da lei 5988, de 14/12/1973)

Esta obra foi composta na AM Produções Gráficas Ltda.
e impressa na Divisão Gráfica da Editora Abril S.A.

ISBN 85-13-00103-1



5

O salto rumo ao espaço
Exercícios digitais com a ilusão



1

31

As fronteiras da Lua
Na rota de outros mundos



2

56

Apêndice

61

Glossário

63

Índice

64

Créditos das fotos





O salto rumo do espaço

"*Aurora VII, Aurora VII*", repetia ansiosamente o astronauta Gus Grissom ao microfone do Centro de Controle Mercury. "Está me ouvindo? Está me ouvindo?" Grissom tentava entrar em contato com o astronauta Scott Carpenter a bordo da cápsula espacial *Aurora VII*. Era 24 de maio de 1962 — Carpenter acabava de completar três voltas ao redor da Terra e tornara-se o segundo norte-americano a entrar em órbita. Agora, poucos minutos após a hora programada para a descida, presumia-se que a cápsula boiasse nas águas do Atlântico, transportando Carpenter são e salvo. Mas por que não havia resposta?

A voz monótona e invariável de Grissom destacava-se naquela sala silenciosa do Cabo Canaveral, na Flórida. Todos no Centro de Controle Mercury sabiam que algo saíra errado com o voo de Carpenter.

O problema havia começado quando Carpenter, movendo-se a 8 quilômetros por segundo, iniciara sua trajetória de volta à Terra. O primeiro passo nesse estágio da missão era disparar os empuxadores da cápsula — pequenos tubos semelhantes a um foguete que controlavam a orientação da nave durante o voo — e assim inclinar a *Aurora VII* para o ângulo correto, a fim de retornar à Terra. O próximo passo era usar os freios da cápsula, chamados retrofoguetes, para diminuir a velocidade da nave na descida. Quando a *Aurora VII* estivesse a uma altitude de aproximadamente 8 quilômetros da Terra, os pára-quedas se abririam, e a cápsula pousaria suavemente no mar.

No entanto, uma sucessão de falhas ocorrera. No momento em que Carpenter tentou posicionar a *Aurora VII* para voltar à Terra, o sistema de estabilização automático revelou-se incapaz de manter a nave no ângulo correto de reentrada na atmosfera. Carpenter resolveu então usar os controles manuais, mas inadvertidamente desalinhou a cápsula em 25 graus. A situação agravou-se quando os retrofoguetes dispararam com três segundos de atraso, e, devido à falha no alinhamento, houve menos frenagem do que o planejado.

Entrar na atmosfera terrestre a bordo de uma nave lançada em ângulo errado e que viaja a uma velocidade muito alta, pode reduzi-la — e ao astronauta, é claro — a cinzas. Felizmente, neste caso, o efeito combinado da série de falhas simplesmente arremessou Carpenter a 400 quilômetros do ponto previsto para a amerissagem e muito além do alcance do rádio de Gus Grissom e do porta-aviões designado para recuperar a cápsula. Durante nove minutos após a reentrada, Gus Grissom e seus colegas no Cabo Canaveral simplesmente ignoravam se Carpenter estava vivo ou morto e, muito menos, onde poderia estar.

OS GUARDIÃES DIGITAIS MOSTRAM O CAMINHO

Um par de máquinas, no entanto, sabia quase exatamente onde encontrar Carpenter. A centenas de quilômetros de distância, no Centro de Voo Espacial Goddard, em Maryland, dois computadores de grande porte haviam controlado sua desorientada volta à Terra. Depois que Carpenter acionou os retrofoguetes da *Aurora VII*,

esses computadores classificaram os dados sobre posição e altura fornecidos por uma estação terrestre de radar na Califórnia, que seguia a trajetória da nave em direção ao Atlântico. Onze minutos após o último contato radiofônico da cápsula com a estação de rastreamento da Califórnia, um dos computadores emitiu uma previsão extraordinariamente precisa sobre a posição da cápsula. De acordo com esses cálculos, ela estaria flutuando cerca de 200 quilômetros a nordeste de Porto Rico.

As aeronaves enviadas pela força-tarefa de recuperação dirigiram-se rapidamente para o local indicado, e logo captaram os sinais de rádio da *Aurora VII*. Decorridos pouco mais de trinta minutos da amerissagem, um dos aviões de busca deu o sinal: o tripulante avistara o astronauta em um barco salva-vidas inflável, próximo à nave que, como um funil invertido, balançava ao sabor das ondas. Cerca de duas horas e meia mais tarde, Carpenter estava sendo içado por um helicóptero, são e salvo.

À época do voo da *Aurora VII*, os computadores ainda não eram aceitos como companheiros imprescindíveis em missões espaciais. Os engenheiros espaciais, os astronautas e os controladores baseados em terra viam com cautela o uso desses equipamentos. Como ocorria em outros campos, os computadores utilizados em vôos espaciais algumas vezes cessavam de funcionar sem qualquer motivo aparente. Além disso, a complexidade dos programas de computação para os vôos espaciais poderia mascarar um erro fatal no sistema, descoberto apenas quando precedido pela mais improvável seqüência de acontecimentos — ou quando já não houvesse mais tempo para corrigir o erro.

Mas, ainda assim, a exploração do espaço não prosseguiria sem o auxílio dos computadores — realmente imprescindíveis na absorção do fluxo de dados gerado por mecanismos tão complexos como as naves espaciais, em circunstâncias tão peculiares quanto as que envolvem um voo espacial. E só eles podem avaliar essas informações e auxiliar os seres humanos a tomarem decisões corretas e oportunas.

Durante cinco décadas de estudo e construção de foguetes e teleguiados, os computadores revelaram sua importância em todas as fases de um voo espacial: não só ajudam a projetar os veículos espaciais, como também desincumbem-se da inspeção pré-voo que garante seu perfeito funcionamento. Ainda simulam missões no espaço para que os engenheiros possam testar em laboratório o comportamento das naves espaciais e dos foguetes auxiliares, e os astronautas aperfeiçoar suas habilidades em vôos de treinamento sem precisar sair de terra firme. Os computadores também organizam os milhares de detalhes que precedem o lançamento de uma nave espacial, e dirigem seu curso no espaço. Cada vez mais essas máquinas têm sido solicitadas para executar tarefas a bordo de espaçonaves lançadas no vácuo, além do alcance de comunicação imediata com a Terra. Viagens não tripuladas rumo aos planetas mais distantes do sistema solar estão quase totalmente sob o controle de computadores resistentes, a bordo das naves espaciais, previamente programados com instruções e planos para eventuais encontros com corpos celestes.

OS PIONEIROS

A onipresença dos computadores no campo da exploração espacial parece inevitável. Houve época, entretanto, em que a contribuição dos computadores nessa área estava marcada por dúvidas. O uso de computadores em vôos espaciais remonta ao início da Segunda Guerra Mundial, quando um grupo de engenheiros

alemães começou a realizar experiências com computadores associados à balística de foguetes, em um centro de pesquisas próximo à cidadezinha de Peenemünde, em uma ilha distante na costa alemã, no mar Báltico. Poucos anos depois os participantes dessa equipe ajudariam os norte-americanos a alcançar a Lua, mas, já naquela época — sob a exigente direção de Werner von Braun —, o grupo experimentava os limites do espaço, lançando foguetes com combustível líquido para os mais remotos pontos da atmosfera terrestre.

Von Braun pertencia a uma geração que, nas primeiras décadas do século XX, vislumbrou a possibilidade de realizar o sonho de explorar o espaço. Uma nova tecnologia emergia. Na Europa, nos EUA e na União Soviética, grupos de apaixonados por construção de foguetes lançavam míssil após míssil tentando torná-los suficientemente possantes para vencer a força de gravidade da Terra e alcançar o espaço. Em diversos países esses pioneiros ganharam a reputação de fanáticos idealistas. Na Alemanha, entretanto, foram levados a sério, principalmente pelas Forças Armadas. Depois da Primeira Guerra Mundial, o exército alemão fora impedido pelo Tratado de Versalhes de desenvolver determinados tipos de armamentos, dentre os quais artilharia pesada. O Tratado, no entanto, dava margem a algumas saídas. Apesar de proibir a artilharia, não havia qualquer referência aos foguetes, liberando os militares alemães para desenvolver pesquisas nesse campo. O exército alemão lançou-se avidamente às pesquisas, financiando as experiências realizadas por Von Braun em Kummersdorf, um centro de pesquisas próximo a Berlim. Posteriormente, em 1935, o centro de pesquisas em Peenemünde foi inaugurado.

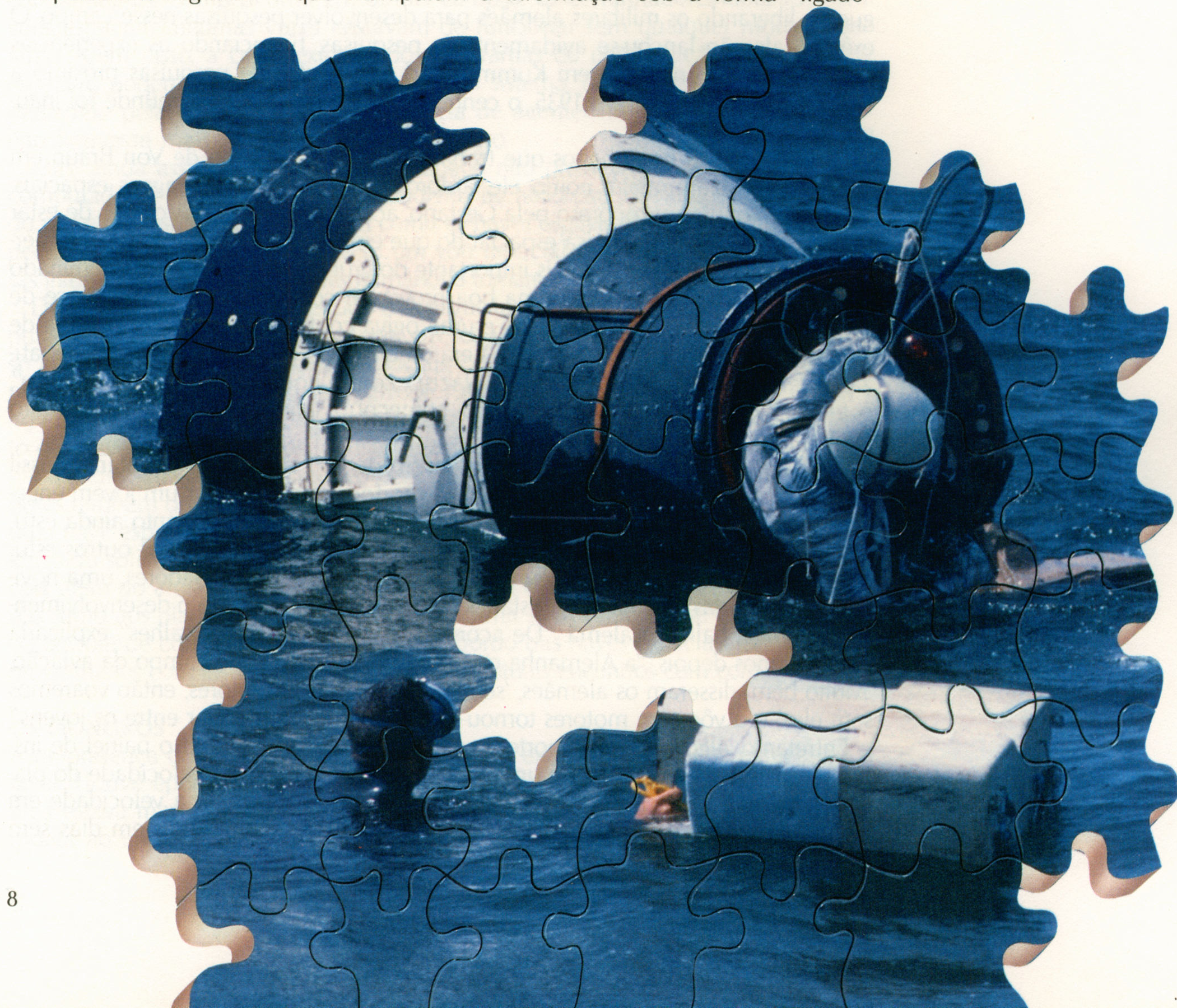
Quase todos os engenheiros que trabalhavam sob a direção de Von Braun em Peenemünde eram, assim como ele, ardorosos defensores das viagens espaciais. Certa vez, Von Braun foi preso pela Gestapo, acusado, entre outras coisas, de estar mais interessado em pesquisa espacial do que em desenvolver foguetes para guerra. No entanto, a conquista mais importante do grupo — um foguete denominado *Assembly-4*, ou *A-4* — seria uma boa prova em contrário. Com um alcance de aproximadamente 320 quilômetros, e uma ogiva contendo mais de 1 tonelada de explosivos de grande potência, o *A-4* era uma terrível arma de destruição. Rebatiado pelo Ministério de Propaganda Nazista com o nome de “arma da vingança”, o temível V-2, como ficou conhecido, começou a atacar Londres em setembro de 1944.

Um pequeno computador instalado dentro do V-2 ajudava a orientar o míssil em direção a alvos distantes. Esse mecanismo fora inventado por um jovem engenheiro, Helmut Hoelzer, que desenvolveu o conceito básico enquanto ainda estudava na Universidade Técnica de Darmstadt, em 1935. Como muitos outros estudantes da época, ele passava seu tempo de lazer pilotando planadores, uma novidade nascida das mesmas circunstâncias que haviam favorecido o desenvolvimento da ciência balística alemã. “De acordo com o Tratado de Versalhes”, explicaria Hoelzer anos depois, “a Alemanha quase nada podia fazer no campo da aviação. ‘Muito bem’, disseram os alemães, ‘se não podemos usar motores, então voaremos sem eles’, e o vôo sem motores tornou-se o esporte mais popular entre os jovens.”

Entretanto, algo naquele esporte incomodava Hoelzer. Embora o painel de instrumentos fosse equipado com um velocímetro que indicava a velocidade do planador no ar, havia a necessidade de um dispositivo para medir a velocidade em relação ao solo, já que as duas velocidades somente seriam iguais em dias sem

vento. Resolvido a projetar um aparelho que lhe transmitisse essa informação, Hoelzer lembrou que estudara um mecanismo de processamento criado por Vannevar Bush, em 1927, no MIT. A gigantesca montagem de eixos e engrenagens ocupando uma grande sala denominava-se analisador diferencial e servia para resolver equações diferenciais — expressões matemáticas complexas usadas para prever o comportamento de objetos em movimento, como, por exemplo, aviões.

O analisador não era rápido o bastante para calcular a velocidade de um planador. Hoelzer, então, teve a idéia de substituir as engrenagens e eixos por um mecanismo eletrônico suficientemente compacto para caber em uma espaçonave, e capaz de resolver com rapidez as equações diferenciais, podendo, dessa forma, servir como indicador de velocidade. Hoelzer pretendia montar uma combinação de pesos e molas que pudesse detectar a aceleração, com base no mesmo princípio que faz um passageiro sentir-se pressionado contra o assento de um carro em alta velocidade. Basicamente, sua invenção transformaria aquela força em corrente elétrica, que poderia ser medida e usada para calcular — quase que de imediato — a velocidade da aeronave. A exemplo do analisador diferencial de Bush, o mecanismo criado por Hoelzer era um computador analógico. Em contraste com os computadores digitais — que manipulam a informação sob a forma “ligado-



desligado" —, os mecanismos analógicos representam dados com variáveis físicas, como o movimento das engrenagens ou as variações na magnitude da tensão elétrica.

Hoelzer propôs a construção do velocímetro como parte de seu trabalho universitário. Entretanto o chefe de seu departamento achou o projeto muito caro e ambicioso, e Hoelzer abandonou-o. Em 1939, dois anos após ter recebido seu diploma de mestrado, o jovem foi enviado para Peenemünde pelo governo nazista e retomou o projeto.

Naquela ocasião, o V-2 possuía um sistema giroscópico rudimentar, capaz de controlar o míssil nos três eixos de vôo: inclinação longitudinal e rotação em torno do eixo vertical — rotações à volta de dois eixos com ângulos correspondentes — e rotação em torno do eixo longitudinal do míssil. Esse tipo de controle era essencial para evitar que o empuxo do motor do foguete, localizado em uma extremidade do míssil, provocasse movimentos bruscos. Entretanto, o sistema era imperfeito. Os giroscópios mediam a velocidade de rotação do míssil em volta de cada eixo, para que esses movimentos pudessem ser amortecidos. No entanto, eram tão sensíveis ao choque e à vibração provocados pelo lançamento do foguete, que provavelmente falhariam. Ainda que os giroscópios fossem seguros, o foguete poderia errar o alvo por uma ampla margem, devido a uma segunda imperfeição do mecanismo: o sistema era incapaz de detectar ou corrigir a trajetória do míssil, no caso de um desvio de rota provocado por um vento forte.

Ao chegar a Peenemünde, Hoelzer foi trabalhar com o grupo responsável pelo desenvolvimento do sistema de controle do V-2. Ele deveria ajudar a transformar o V-2 em um verdadeiro sistema de orientação, com o acréscimo de correção de deriva. O grupo de estudos abordava o problema da derivação do projétil a partir de duas tendências. A primeira consistia em impedir a derivação por meio de um feixe direcional transmitido de uma estação terrestre situada a cerca de 10 quilômetros da base de lançamento. A transmissão seria realizada de tal forma que um receptor de rádio especialmente projetado, a bordo da nave, detectaria um desvio do míssil em relação ao centro do feixe direcional. A segunda abordagem previa a utilização de acelerômetros — combinações de molas e pesos semelhantes ao mecanismo imaginado por Hoelzer para o velocímetro de seu planador.

A estratégia do feixe direcional — técnica já amplamente testada e comprovada em espaçonaves controladas por rádio — estava em estágio mais adiantado do que a proposta de utilização do acelerômetro, que dependia sobretudo do aperfeiçoamento de uma combinação de pesos e molas, resistente, mas bastante sensível. Por outro lado, os sinais radiofônicos — e conseqüentemente a precisão do V-2 — poderiam ser interrompidos pelos Aliados. Os sistemas de orientação inercial baseados nos acelerômetros não compartilhavam dessa vulnerabilidade e, portanto, a pesquisa prosseguiu nas duas frentes.

DOS PLANADORES PARA OS FOGUETES

Hoelzer percebeu imediatamente que seu projeto de velocímetro poderia ser aplicado, com pequenas alterações, para corrigir derivas laterais no V-2. Afinal, a questão básica era a mesma: qual a velocidade de ambos os veículos em relação ao solo? Ele começou calculando maneiras de representar as funções matemáticas sob forma de circuitos feitos de capacitores, resistores e outros componentes eletrônicos. Ao combinar tais circuitos de forma adequada, Hoelzer montou um com-

putador eletrônico capaz de representar complexas equações de movimento. Provido da corrente elétrica gerada pelo sistema de orientação quando as correntes de vento desviavam o foguete de sua trajetória, o computador poderia calcular a velocidade da oscilação lateral do míssil. Lemes, localizados no fluxo de descarga, seriam então ativados a fim de corrigir a trajetória.

Se o computador de Hoelzer era capaz de calcular a velocidade de oscilação, em um movimento linear, bastava um mínimo para que ele conseguisse manobrar os movimentos circulares de inclinação e rotação longitudinal em torno dos três eixos. Hoelzer aperfeiçoou o aparelho — equipando-o com circuitos eletrônicos tão robustos que raramente apresentavam defeitos —, e este logo substituiu os hipersensíveis giroscópios de velocidade de rotação a um custo bem mais baixo.

O sucesso alcançado por Hoelzer com seu sistema de orientação eletrônica e o computador de controle levou-o a adaptar a idéia para um outro fim. Os vôos experimentais para checar o desempenho do sistema de orientação do V-2 nem sempre revelavam-se informativos; normalmente o míssil chocava-se com o mar e explodia ou afundava sem que se soubesse o que havia dado certo ou errado. Na tentativa de solucionar o problema, os engenheiros em Peenemünde resolveram suspender o V-2 do solo e empurrá-lo de um lado para outro por meio de um sistema de pesos e molas que simulava seu movimento. No entanto, esse método, além de bastante dispendioso, consumia muito tempo e não reproduzia algumas das forças que afetavam o V-2 após o lançamento. O plano de Hoelzer era construir um computador analógico, que imitaria o comportamento do foguete em vôo e testaria seu sistema de orientação.

UMA RECEPÇÃO POUCO CALOROSA

Nem todos os colegas de Hoelzer partilhavam de seu entusiasmo por computadores. O matemático Hermann Steuding acalentava poucas esperanças sobre o sucesso do trabalho de simulação efetuado por Hoelzer, e até mesmo Werner von Braun, não vendo muito futuro no trabalho de Hoelzer, aconselhou-o a “parar de brincar com brinquedos eletrônicos”.

Hoelzer, entretanto, não desistiu e continuou sua pesquisa em segredo. Não havia tempo a perder na Alemanha assolada pela guerra. Contratou um colega, o engenheiro Otto Hirschler, para ajudá-lo. Os dois começaram a construir um modelo grosseiro do aparelho, em uma pequena sala, com acesso apenas pelo escritório de Hoelzer. Em 1941 o protótipo estava pronto e foi apresentado a Von Braun e a outros entendidos do assunto, que, entusiasmados, encomendaram aos dois engenheiros uma versão operacional da peça. O mecanismo completo, com cerca de 1,50 metro de altura e movido em parte por um motor de aspirador de pó, em breve começou a funcionar com regularidade, testando novos sistemas de orientação antes que fossem instalados nos mísseis.

Hoelzer preparou uma tese de doutorado baseada no projeto da máquina e submeteu seu trabalho à Universidade Técnica de Darmstadt, no final de 1945, pouco depois do término da guerra. Na época, a universidade estava sob o controle de um capitão do exército norte-americano, membro do governo militar, que supervisionava a Alemanha ocupada. Posteriormente Hoelzer viria a lembrar como o capitão rejeitara sua tese alegando que envolvia “o desenvolvimento de armas” e porque “não há mais necessidade de foguetes, pois não haverá mais guerra”. Quando Hoelzer argumentou que os foguetes poderiam também ser usados em vôos

espaciais, o capitão repeliu tais idéias taxando-as de “fantasias”.

Aconselhado por um de seus professores de antes da guerra, Hoelzer revisou a tese e dividiu-a em duas partes. Da primeira parte — a ser apresentada apenas ao capitão —, ele eliminou todas as referências a foguetes. A segunda parte, que descrevia a aplicação dos computadores analógicos à balística de foguetes, dirigia-se ao corpo docente da universidade alemã. Como resultado dessa manobra salomônica, Hoelzer recebeu, em fevereiro de 1946, o primeiro diploma de doutorado concedido para pesquisa em ciência da computação.

Logo após, Hoelzer emigrou para os EUA e foi trabalhar no Army's Redstone Arsenal em Huntsville, Alabama, juntando-se a Von Braun e mais de cem outros participantes do grupo de Peenemünde, recrutados pelo exército depois da guerra. Os alemães haviam trazido componentes do V-2 em quantidade suficiente para montar cerca de cem mísseis, além de um dos computadores analógicos de Hoelzer. Os mísseis tornaram-se a base do desenvolvimento de foguetes na América pós-guerra, e a invenção de Hoelzer provou ser valiosa, assim como outros dispositivos analógicos gerados pelo computador.

A primeira grande conquista do grupo para o exército foi o míssil *Redstone*. Basicamente um V-2 aprimorado, com alcance de 320 quilômetros, o *Redstone* era guiado por um computador analógico inventado por James Farrior, um jovem norte-americano que se havia juntado ao grupo. Versão aperfeiçoada dos projetos de Hoelzer, visto que controlava não só a oscilação, mas também o alcance do foguete, o mecanismo de Farrior foi o precursor de muitos computadores de orientação.

Em 1956, o grupo de Huntsville empilhou dois grupos de foguetes menores a propelentes sólidos, um dentro do outro, na parte superior do *Redstone*, para montar um novo foguete denominado *Júpiter C*. Um mecanismo de redução parcial no peso do foguete à medida que o combustível fosse sendo consumido tornou possível que motores de foguete de pouca potência lançassem em órbita pacotes de instrumentos científicos.

No entanto, a cena do *Júpiter C* foi roubada antes mesmo que ele pudesse demonstrar suas proezas. Em 4 de outubro de 1957, a União Soviética lançou em órbita o primeiro satélite feito pelo homem, o *Sputnik I*. Essa façanha abalou a posição de liderança dos norte-americanos no campo da tecnologia. Como se não bastasse, um mês depois o *Sputnik II*, levando a bordo o primeiro passageiro terrestre — a cadela Laika — entraria em órbita. Em resposta às proezas da União Soviética e ao clima gerado por uma guerra fria tecnológica, os norte-americanos aceleraram seu programa espacial, que atingiu o ritmo sonhado por Von Braun e seus companheiros.

Em 31 de janeiro de 1958, após três meses de intensos preparativos, uma versão modificada do *Júpiter C* levantou vôo, lançando em órbita o primeiro satélite artificial dos EUA, o *Explorer I*, que carregava 8 kg de instrumentos científicos. Dois meses após, foi lançado um satélite de 1,6 kg, a bordo do *Vanguard I*, um foguete desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisas Navais dos EUA. Em julho de 1958 foi fundada a NASA (National Aeronautics and Space Administration — Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço). Três meses depois, a nova agência autorizou o Projeto Mercury, cuja meta era colocar um astronauta em órbita.

Durante os dois anos seguintes, aceleraram-se os preparativos para o Projeto Mercury em meio a grande publicidade e crescente agitação nacional. Então novamente os russos ultrapassaram os norte-americanos. Em 12 de abril de 1961 a União

Soviética lançou a primeira missão espacial tripulada, e o cosmonauta Lúri Gagárin deu a volta ao redor da Terra. Seis semanas após a proeza dos russos, o Presidente John F. Kennedy proferiu um discurso no Congresso onde referiu-se dramaticamente ao último desafio dos russos, anunciando que os Estados Unidos iriam canalizar seus recursos para levar o homem à Lua antes do final daquela década.

As metas do Projeto Mercury e o programa de levar o homem à Lua exigiam um impulso substancial na área tecnológica, principalmente no campo da computação. Os dispositivos analógicos desenvolvidos inicialmente em Peenemünde continuaram a exercer uma função importante na simulação dos vôos de foguetes e na manutenção da trajetória após o lançamento. Mas, à medida que se desenvolvia o programa espacial para lançar em órbita naves tripuladas, os computadores digitais eletrônicos de grande porte — que emergiram da pesquisa realizada nos EUA durante a guerra — assumiram a liderança.

De início, poucas pessoas na recém-fundada NASA se arriscariam a prognosticar qual o papel reservado aos computadores no programa de exploração espacial. Bill Tindall, um engenheiro mecânico, havia sido contratado, em 1948, para trabalhar para a antecessora da NASA, a NACA (National Advisory Committee for Aeronautics — Comitê Consultivo Nacional para Aeronáutica), no desenvolvimento do Projeto Echo, um satélite retransmissor inflável cujo lançamento estava planejado para 1960. A composição dos gases dentro do balão exigia que o *Echo* estivesse constantemente sob a luz solar para permanecer inflado. Cálculos precisos e corretos faziam-se imprescindíveis para manter o satélite aquecido e determinar o horário do lançamento e a trajetória do foguete que o lançaria em órbita.

Marcos da computação espacial

O papel dos computadores no programa espacial evoluiu desde os primeiros mecanismos analógicos — utilizados para orientar os primeiros foguetes — e seqüenciadores elementares colocados a bordo das primeiras sondas não tripuladas. A linha que se inicia à direita e continua nas próximas páginas enumera alguns dentre os computadores significativos e sistemas automáticos mencionados nesta obra. Os pontos escuros indicam os vôos tripulados; os claros, os projetos espaciais não tripulados. As datas marcam normalmente as estréias operacionais, isto é, o ano em que um sistema ou componente foi utilizado pela primeira vez em uma missão. As linguagens de computação e os sistemas automatizados de testes — introduzidos gradualmente e modificados no decorrer do tempo — aparecem segundo o ano da apresentação do projeto inicial.

- o Computador V-2 de controle e orientação: dispositivo analógico usado para controlar o foguete alemão V-2.
- o Simulador V-2: computador analógico adaptado a um foguete de vôo de V-2.
- o Simulador V-2: computador analógico adaptado a um foguete (usado para testar

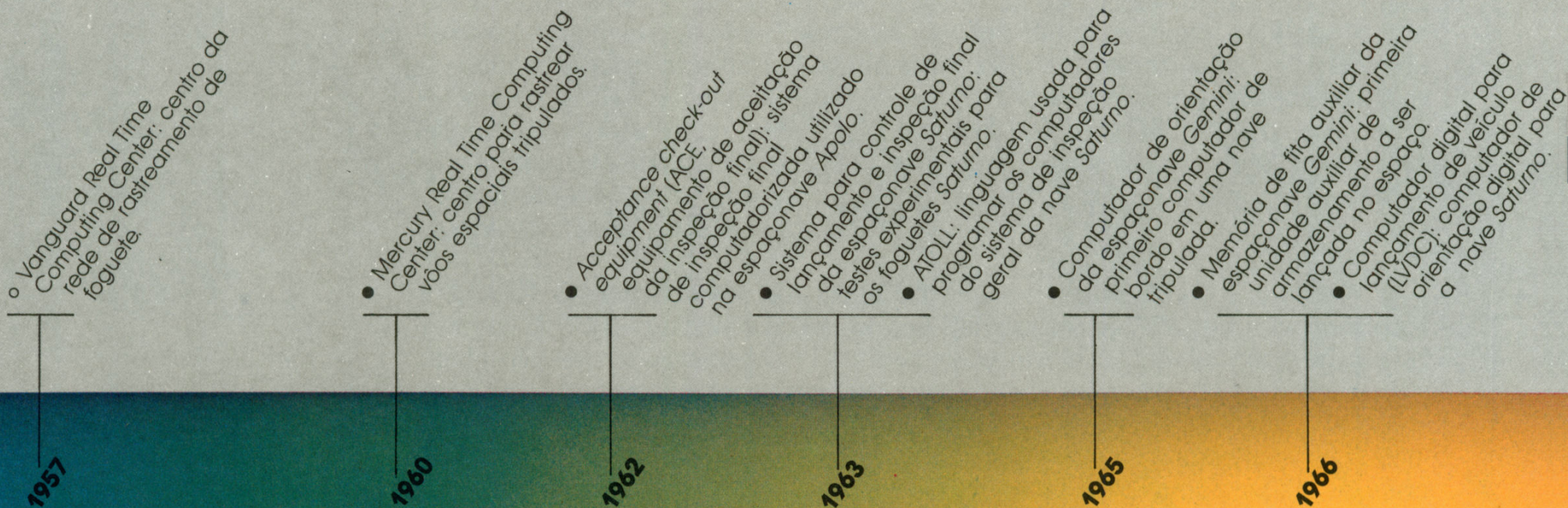
1941

Para efetuar todos esses cálculos, Tindall e seu colega Eugene Davis recorreram ao computador IBM 650 da NACA. Com a reputação de perito em computação na NASA, Tindall ficou encarregado de desenvolver o software para o sistema de computação que serviria de centro nervoso para uma rede de comunicação mundial e de rastreamento de radar, estabelecida para monitorar e controlar as 26 missões planejadas para o Projeto Mercury.

Essa rede incluía estações terrestres e outras, baseadas em navios, que abrangiam três oceanos e três continentes e estavam programadas para estabelecer ligação radiofônica com o astronauta quando a espaçonave estivesse dentro da sua faixa de alcance. As estações também receberiam sinais radiofônicos emitidos pela espaçonave, conhecidos como telemetria, que forneceriam informações como os batimentos cardíacos e a temperatura do astronauta, além da quantidade de combustível restante para o sistema automático de controle de atitude da cápsula.

Em cada estação os radares acompanhariam a trajetória da nave, transmitindo relatórios sobre sua posição que permitiriam aos computadores calcular a velocidade da cápsula e prever seu curso. Dessa forma, cada estação de rastreamento poderia posicionar suas antenas para comunicar-se com a cápsula a partir do momento em que esta surgisse no horizonte. Além disso, no caso de uma emergência, os computadores informariam aos controladores da missão o momento adequado para interromper o voo, de modo a permitir a amerissagem da cápsula.

A rede de rastreamento havia sido montada pela Western Electric Company, que se unira à IBM, encarregada de fornecer os computadores e o software necessários. Em 1957, uma das máquinas IBM — o modelo 709, repleto de antigas válvvu-

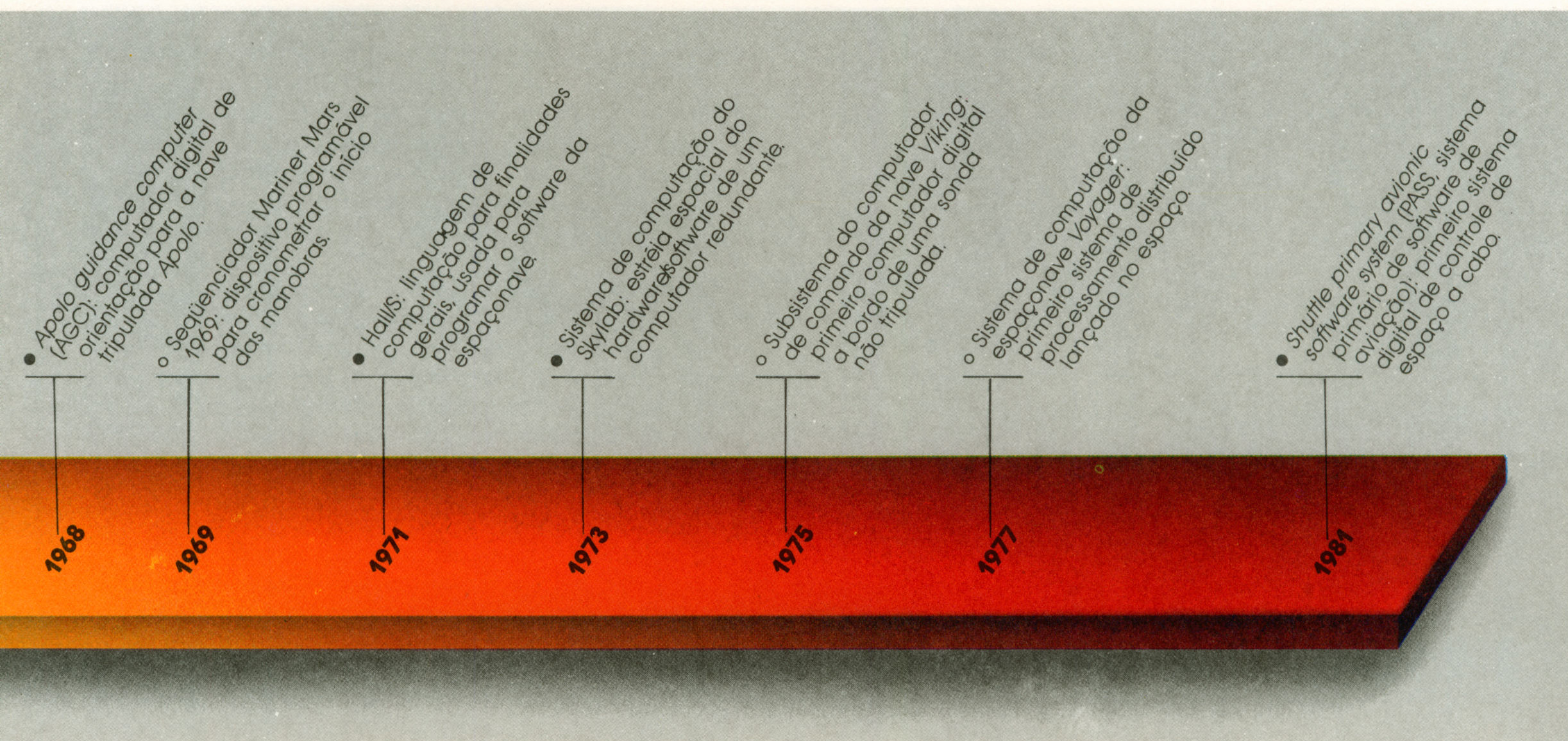


las eletrônicas — ajudara a rastrear o satélite do Projeto Vanguard. O computador, instalado em Washington D.C., dispunha de um programa com 40 000 instruções que fornecia os cálculos da trajetória em tempo real. No caso das missões orbitais, tripuladas ou não tripuladas, tempo real significa que o computador é rápido o bastante para fazer com que as estações de rastreamento consigam estabelecer contato com o satélite tão logo ele surja no horizonte.

Para o Projeto Mercury, a IBM escolhera seu mais novo computador de grande porte; o modelo 7090 foi desenvolvido para satisfazer às exigências do Departamento de Defesa em relação ao BMEWS (Ballistic Missile Early Warning System, ou Sistema de Aviso Antecipado sobre Mísseis Balísticos), projetado para alertar os Estados Unidos sobre um possível ataque de mísseis balísticos intercontinentais. No caso de um ataque desse tipo, o BMEWS e seus computadores, como as estações *Mercury*, deveriam seguir rapidamente a pista de objetos em movimento pelos céus. Nesse novo modelo de computador os transistores substituíam as pesadas válvulas eletrônicas.

O 7090 da IBM adequava-se perfeitamente à NASA. O computador já havia demonstrado competência em papéis semelhantes. Além disso, as máquinas usadas pela NASA eram idênticas às aquelas vendidas comercialmente pela IBM. Isso era um dado importante. Desde o início, a grande preocupação da NASA relacionava-se à segurança de seus astronautas, o que a levou a estabelecer uma política que exigia o uso de equipamento e tecnologia devidamente experimentados, e o 7090 preenchia os requisitos.

Na busca de segurança previa-se a instalação de dois computadores 7090: a se-



gunda máquina serviria de hot backup, ou reserva. Os 7090 operariam em paralelo, recebendo as mesmas informações. No entanto, somente uma das máquinas — denominada computador principal ou computador operacional da missão — tinha permissão de transmitir seu output. Caso o computador principal acusasse alguma falha, a outra máquina, batizada de stand-by dinâmica, poderia entrar em atividade, apertando-se um botão.

A NASA resolvera instalar os computadores no novo Centro Espacial Goddard, em Maryland, de onde estariam em contato, através de linhas telefônicas especiais, com um outro par de máquinas instaladas no Cabo Canaveral, local escolhido para o lançamento dos mísseis das missões Mercury. Um dos computadores instalados no Cabo Canaveral — uma máquina da Burroughs ligada a um radar — guiaria o foguete após a decolagem. O segundo computador, localizado no Mercury Control Center — um IBM 709 — analisaria os dados sobre a posição do foguete acelerador, enviando-os para o responsável pela distância de segurança, encarregado de destruir foguetes que representassem ameaça.

A distância de 1 300 quilômetros entre o Centro Espacial Goddard e o Cabo Canaveral impôs uma importante modificação que diferenciou os computadores 7090 da missão Mercury de suas contrapartidas fabricadas para fins comerciais. Os engenheiros da IBM desenvolveram para o projeto um dispositivo especial chamado Canal para Comunicações de Dados IBM 7281, que abria dois pares de canais de comunicação — em vez do único par habitual — entre o computador principal 7090, e o Cabo Canaveral.

Os dados transitavam entre o Centro Goddard e o Cabo Canaveral através de uma linha telefônica especial arrendada, que poderia transmitir mil bits por segundo, ritmo considerado extraordinariamente rápido para a época.

A política de redundância da NASA — com um backup pronto para assumir em caso de falhas — presumia que as linhas de dados dos pares input e output tivessem trajetos separados. Entretanto, decorridos vários meses, verificou-se que a companhia telefônica havia juntado todas as linhas em um único cabo, ligando o Centro Goddard à central telefônica local. “Descobrimos isso quando todas as quatro linhas pararam de funcionar”, lembrou-se Bill Tindall. “Não é preciso dizer que a idéia de redundância estava correta, errados estavam os cabos.” Felizmente, o incidente ocorreu no intervalo entre as missões, e as linhas foram reparadas e realinhadas antes do voo seguinte.

FALTA DE CONFORTO NA ERA ESPACIAL

Em fins de 1960, quando recebeu os dois computadores 7090, o Centro Goddard ainda não estava terminado. A estrutura de concreto do prédio que abrigava as máquinas possuía paredes de madeira compensada e um teto de lona provisórios. Dentro do prédio, divisões, também de madeira, delimitavam os espaços. Salvava-se a sala do computador. Ela estava pronta e equipada com aparelhos de ar condicionado portáteis para resfriar os computadores. O maior problema era causado pela poeira, uma constante ameaça aos delicados mecanismos internos do computador. “Nós não parávamos de limpar”, comentou Tindall, cujo grupo de planejamento de software chegara ao Centro Goddard juntamente com as máquinas.

O grupo, que incluía programadores da IBM, deparou-se com um extraordinário desafio para desenvolver um software que atendesse às necessidades do Projeto Mercury. Na época, um computador precisava terminar a execução de um pro-

grama antes de iniciar o próximo: uma série de cálculos matemáticos, por exemplo, uma vez iniciada, não poderia ser interrompida até ser concluída. Além disso, a unidade de processamento de dados, que efetuava os cálculos, não operava enquanto o computador estivesse recebendo ou enviando dados a dispositivos periféricos, como as impressoras. O Centro Goddard, entretanto, precisava que seus computadores executassem três tarefas concomitantes: receber dados do Cabo Canaveral e das estações de rastreamento, processar a informação e transmitir os resultados em tempo hábil.

Para que o sistema conseguisse lidar com diversas tarefas ao mesmo tempo, os peritos da IBM desenvolveram um programa de controle especial denominado Mercury Monitor. Precursor do que hoje se denomina sistema de operação, o Mercury Monitor funcionava como uma espécie de polícia eletrônica de trânsito, organizando a transmissão de dados para que a unidade de processamento do computador não precisasse dividir sua atenção. O Monitor também dispunha de um mecanismo para suspender um programa, de forma a dar prioridade a outro. Os marcadores eletrônicos que identificavam essas prioridades estavam embutidos nos programas. Reconhecer as prioridades dos programas era uma grande proeza para um computador em 1960, e uma façanha da qual se orgulhavam Tindall e o grupo IBM.

A PRÁTICA LEVA À PERFEIÇÃO

Antes de serem utilizados em uma missão real, os computadores 7090 equipados com o Mercury Monitor foram submetidos a inúmeros testes. Havia programas especiais que simulavam as três fases do voo — lançamento, órbita, reentrada —, gerando uma trajetória imaginária e dados de telemetria, que poriam à prova a capacidade dos computadores. O Centro de Controle e as estações de rastreamento à distância viram-se igualmente bombardeados com uma série de defeitos simulados para checar se poderiam enfrentar eventuais problemas surgidos durante uma missão real. Prova após prova, o sistema funcionou com perfeição.

Mas o verdadeiro teste deu-se em 20 de fevereiro de 1962. Às 6 horas e 3 minutos da manhã, quando o céu encoberto começou a clarear em Cabo Canaveral, John Glenn, tenente da Marinha, 40 anos, nascido em Ohio, entrou com cuidado na nave espacial *Friendship VII*. A cápsula *Mercury*, de 2 toneladas, encarapitava-se no alto de um foguete auxiliar, o *Atlas*, adaptado especialmente para o Projeto Mercury. Elevando-se dez andares acima da plataforma de lançamento, o foguete, por ocasião do lançamento, registraria um empuxo quatro vezes superior ao do *Júpiter C*, que lançara o *Explorer I*.

No ano anterior, meses após o voo orbital de Lúri Gágárin, dois colegas de Glenn, os astronautas Alan Shepard e Gus Grissom haviam sido projetados a uma altitude de aproximadamente 180 quilômetros pelos foguetes auxiliares produzidos por Von Braun no Redstone Arsenal, descreveram um arco acima da atmosfera em uma curva balística e em seguida mergulharam no oceano Atlântico. John Glenn fora o astronauta escolhido para realizar o primeiro voo orbital tripulado dos EUA. Enquanto os técnicos amarravam Glenn ao assento da cápsula, o grupo de computação no Centro Goddard realizava a última checagem na rede de rastreamento e nas conexões de comunicação entre os computadores instalados em Maryland e os do Cabo Canaveral. Tudo parecia estar correndo bem, quando, 90 minutos antes da hora programada para o lançamento, as luzes no console do computador começaram a piscar. O computador principal deixara de funcionar.

O chefe da seção de computação, John Morton, apesar de nervoso com a estréia do sistema, revelou-se bem preparado para esse tipo de problema. Ordenou que um dos dois operadores de plantão ligasse o computador de reserva. Imediatamente, o outro 7090 assumiu as novas responsabilidades. Em poucos minutos os técnicos conseguiram religar o computador principal, que sem maiores problemas retomou suas funções.

Graças à máquina sobressalente, nenhum minuto na contagem regressiva foi perdido. As chamas irromperam do bocal de escapamento dos motores do *Atlas* às 9 horas e 47 minutos.

A máquina da Burroughs instalada no Cabo Canaveral já recebia um fluxo de sinais radiofônicos emitidos pelos sensores ligados ao sistema de orientação do foguete auxiliar. Trinta segundos após o lançamento, o computador começou a usar esses dados para calcular a posição, a velocidade e a direção de vôo do foguete. A máquina, então, emitiu ordens — transmitidas por rádio para o sistema de orientação — que dirigiram o foguete auxiliar ao longo da trajetória correta em direção ao ponto em que, se tudo corresse de acordo com os planos, a nave se desprenderia do topo do *Atlas* e entraria em órbita.

Nesse ínterim, o computador IBM 709, encarregado de controlar a distância de segurança, também rastreava o foguete auxiliar através de um radar no Cabo Canaveral. Ao receber os dados, o IBM 709 emitiu uma série de relatórios para o responsável pela distância de segurança, confirmando que o foguete permanecia em sua rota. Um terceiro radar, localizado nas Bermudas, juntamente com um outro computador IBM 709 começou a rastrear o foguete tão logo ele tornou-se visível e forneceu o terceiro cálculo de altitude, trajetória e velocidade.

Os dados dos três computadores foram simultaneamente transmitidos para o Centro Goddard, onde os IBM 7090 analisaram as informações. Os computadores determinariam se a espaçonave havia alcançado suficiente velocidade e altitude para dar pelo menos uma volta ao redor da Terra. Caso a resposta fosse positiva, um sinal go, isto é, "siga" — seria transmitido ao Cabo Canaveral e em seguida para a nave *Friendship VII*. Caso contrário, o Centro Espacial enviaria instruções de contagem regressiva para que Glenn acionasse os retrofoguetes da cápsula a tempo para uma aterrissagem segura em área de recuperação predeterminada caso ocorresse esse tipo de emergência.

O tempo era fundamental. Uma vez parados os motores do *Atlas* e tão logo as cavilhas explosivas houvessem detonado automaticamente para separar a cápsula do foguete auxiliar, o computador no Centro Goddard teria não mais que 10 segundos para emitir seu aviso. Um atraso na transmissão da ordem "no go", "não siga", condenaria a nave a um pouso de emergência na África.

As 9 horas e 52 minutos, cinco minutos após o lançamento, John Glenn recebeu a ordem go. A espaçonave *Friendship VII* havia atingido uma velocidade superior a 28 000 quilômetros por hora e, deslizando suavemente, entrou em órbita.

Quando Glenn iniciou sua viagem em direção leste, os computadores no Centro Goddard assumiram suas tarefas rotineiras. De cada remota estação chegavam informações de radar sobre a posição da *Friendship VII*. O computador principal despejava um constante fluxo de informações sobre a localização, a velocidade e a rota prevista da cápsula, retransmitidas em seguida para as estações de rastreamento. De posse dessas informações, as estações se acercariam da nave com rádio e radar tão logo ela estivesse ao alcance. Simultaneamente, a informação era trans-

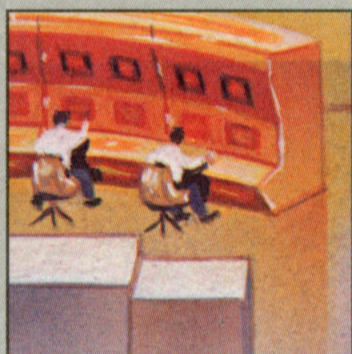
mitida para o Centro Mercury no Cabo Canaveral, onde em um grande mapa do globo diagramava-se a trajetória da *Friendship VII* em volta da Terra.

Quando Glenn estava prestes a completar sua terceira volta — menos de cinco horas após ter deixado a Terra —, os computadores no Centro Goddard deram início a sua tarefa final: calcular o momento exato em que o astronauta deveria acionar os retrofoguetes que fariam a cápsula descer rumo à área de recuperação no oceano Atlântico. De fato, a cápsula amerissou cerca de 60 quilômetros antes do ponto previsto. Os seres humanos haviam esquecido de instruir o computador no sentido de considerar uma redução de peso da aeronave, provocada pelo uso de cargas consumíveis como oxigênio, água e um pouco de suco de maçã, que o organismo do astronauta transformara em calor durante o voo.

Embora o erro não retardasse a recuperação de Glenn e de sua espaçonave — ocorridos dezessete minutos após o pouso —, o programa foi imediatamente corrigido. Dessa forma, os programas e computadores estavam ajustados para prever com precisão os 400 quilômetros de desvio do ponto de impacto no retorno da cápsula pilotada por Scott Carpenter, o segundo norte-americano a entrar em órbita, três meses depois.

No conjunto, foram seis as missões tripuladas do Projeto Mercury. A última — *Faith VII* — ocorreu em 15 de maio de 1963. Pilotada pelo astronauta Gordon Cooper, a *Faith VII* deu 22 voltas ao redor da Terra. Durante todo o Programa Mercury, o sistema de computador para controle baseado em terra funcionou magnificamente. Ajustes ocasionais do software melhoraram o desempenho em pequena escala, mas o sistema permaneceu basicamente inalterado durante os primeiros meses do programa norte-americano de vôos espaciais tripulados. Tudo estava em ordem para o próximo passo da aventura rumo à Lua: o Projeto Gemini.

Exercícios digitais com a ilusão



O vôo espacial tripulado é bastante arriscado. O complexo equipamento (a espaçonave e os motores do foguete possuem milhares de peças móveis) sofre tremendas tensões por ocasião do lançamento e em seguida é submetido à radiação e a temperaturas inexistentes em nosso planeta.

A probabilidade de que algo errado aconteça em algum momento durante a viagem é grande, e a falha poderá ser catastrófica, como o vazamento num dos foguetes auxiliares, responsável pela explosão da *Challenger*, em 1986. Muito provavelmente, entretanto, nenhum problema será tão grave a ponto de condenar uma missão se a tripulação souber como agir para corrigi-lo a tempo.

Com a finalidade de preparar-se para missões tranquilas, assim como para aquelas em que surgem dificuldades, a NASA tem usado máquinas simuladoras de vôos espaciais. Os simuladores treinam tanto os astronautas que se aventuram no espaço, como também os controladores de vôo que permanecem em terra. Embora a construção e a operação desses equipamentos impliquem grandes gastos, essas maravilhas tecnológicas tornam mais práticas as viagens espaciais tripuladas. Sem o uso dos simuladores, duvida-se que alguma nação ousasse assumir os riscos de enviar astronautas ao espaço.

Ao longo do tempo, as espaçonaves ficaram cada vez mais complexas, e o mesmo ocorreu com as máquinas e computadores que simulam suas explorações. O simulador do módulo espacial é tão complicado que, apenas com a ajuda de diversos computadores, os sistemas de vôo da espaçonave são imitados, e os astronautas podem manusear o braço manipulador no compartimento de carga — que aparece em um simulador apenas como um gráfico produzido por computador — e apresentar aos astronautas a infinidade de problemas passíveis de afetar uma missão verdadeira. O resultado é um sistema de computação muito mais potente do que as cinco máquinas da IBM que dirigem a verdadeira nave para o espaço. As experiências simuladas pelos computadores são tão exaustivas que até astronautas veteranos saem exaustos e banhados em suor de um vôo experimental.

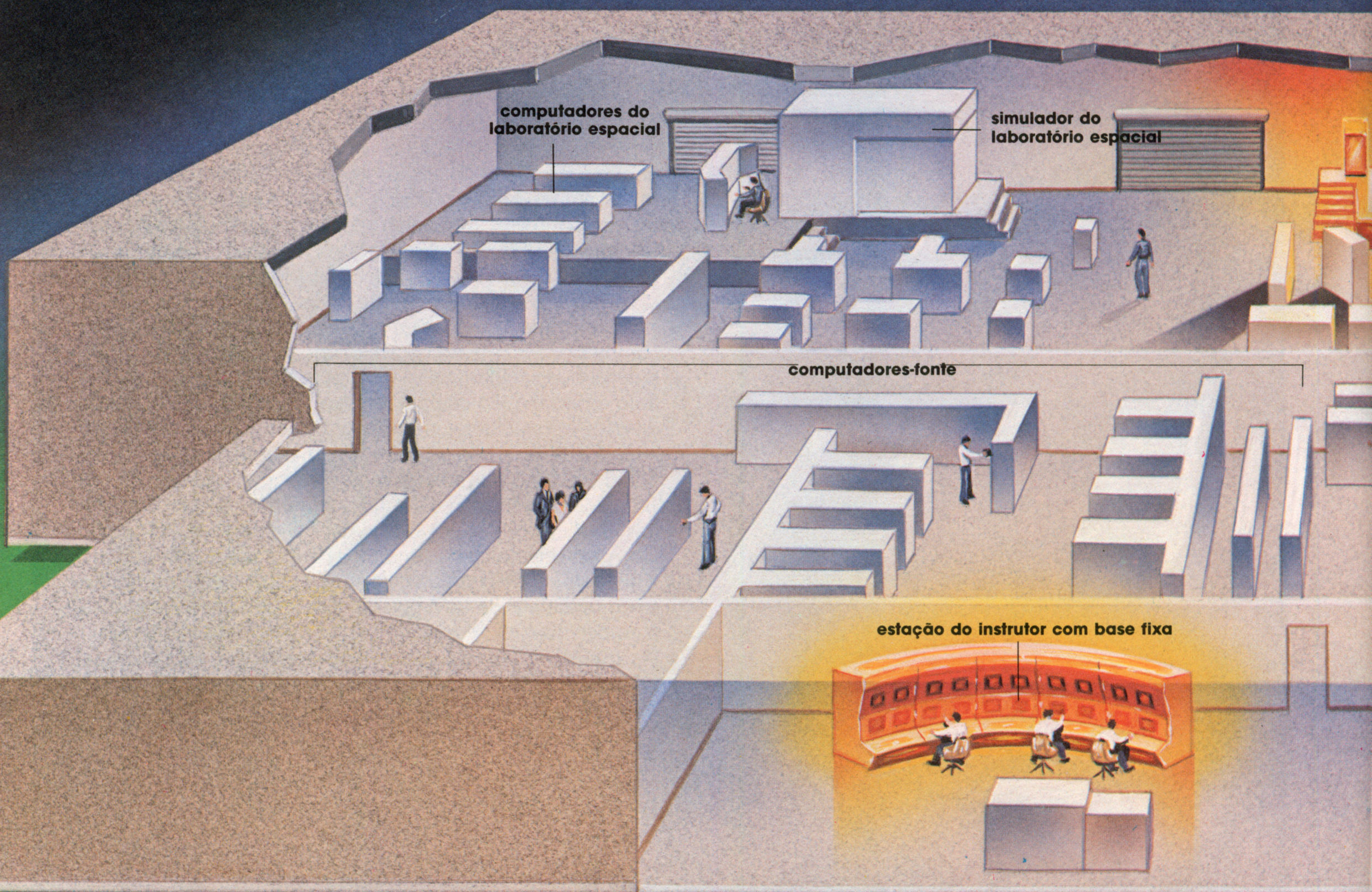
Meio acre de mágica computadorizada

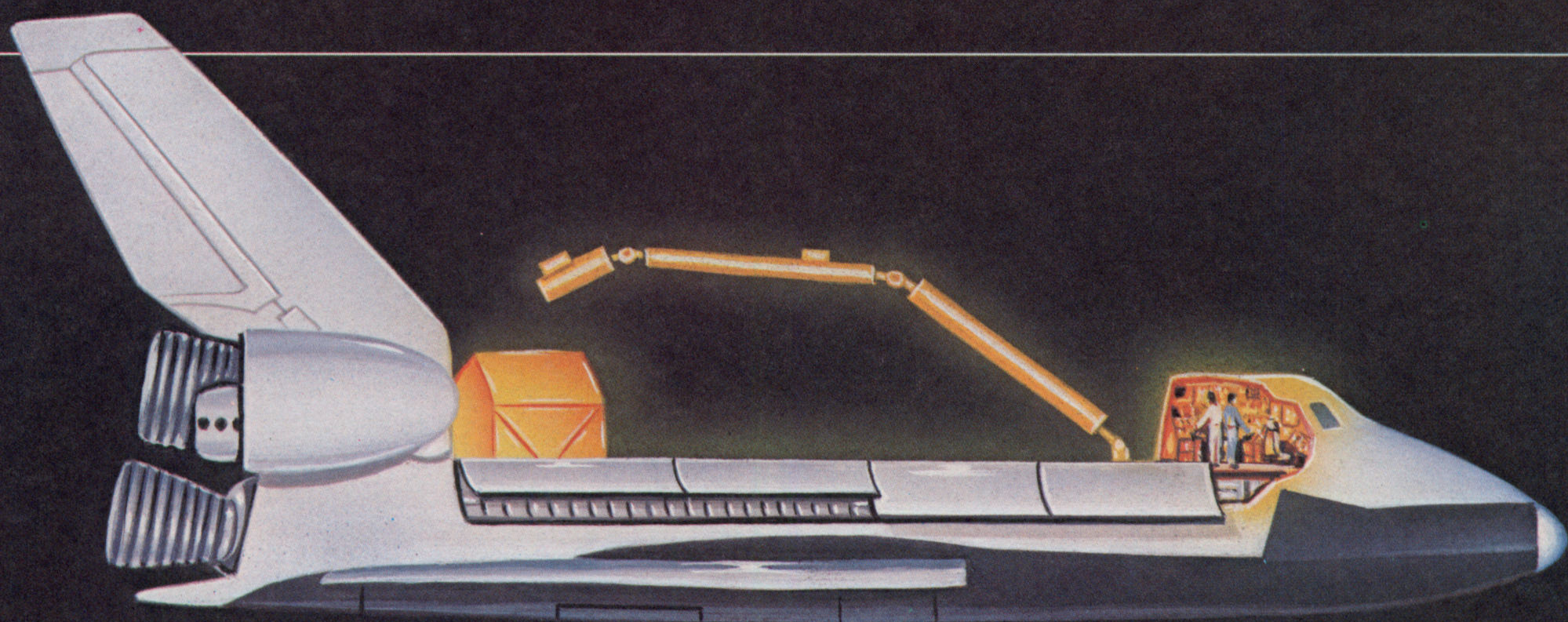
Funcionando dezesseis horas por dia, durante cinco dias por semana, a Shuttle Mission Simulator Facility, isto é, Base dos Simuladores de Missões Espaciais (*abaixo*), ocupa 200 m² no Centro Espacial Johnson, em Houston, Texas. Lá dentro três mestres na arte de conjurar ilusões aguardam: são simuladores computadorizados, tão convincentes que os astronautas submetidos aos testes para futuras missões espaciais aceitam prontamente a fraude.

Os simuladores duplicam partes do layout da cabina da espaçonave. Um deles — a estação da tripulação com base móvel — encarrega-se de adaptar as inclinações, viradas e vibrações da espaçonave durante o lançamento e a aterrissagem. Junto com a estação da tripulação com base fixa, treina os

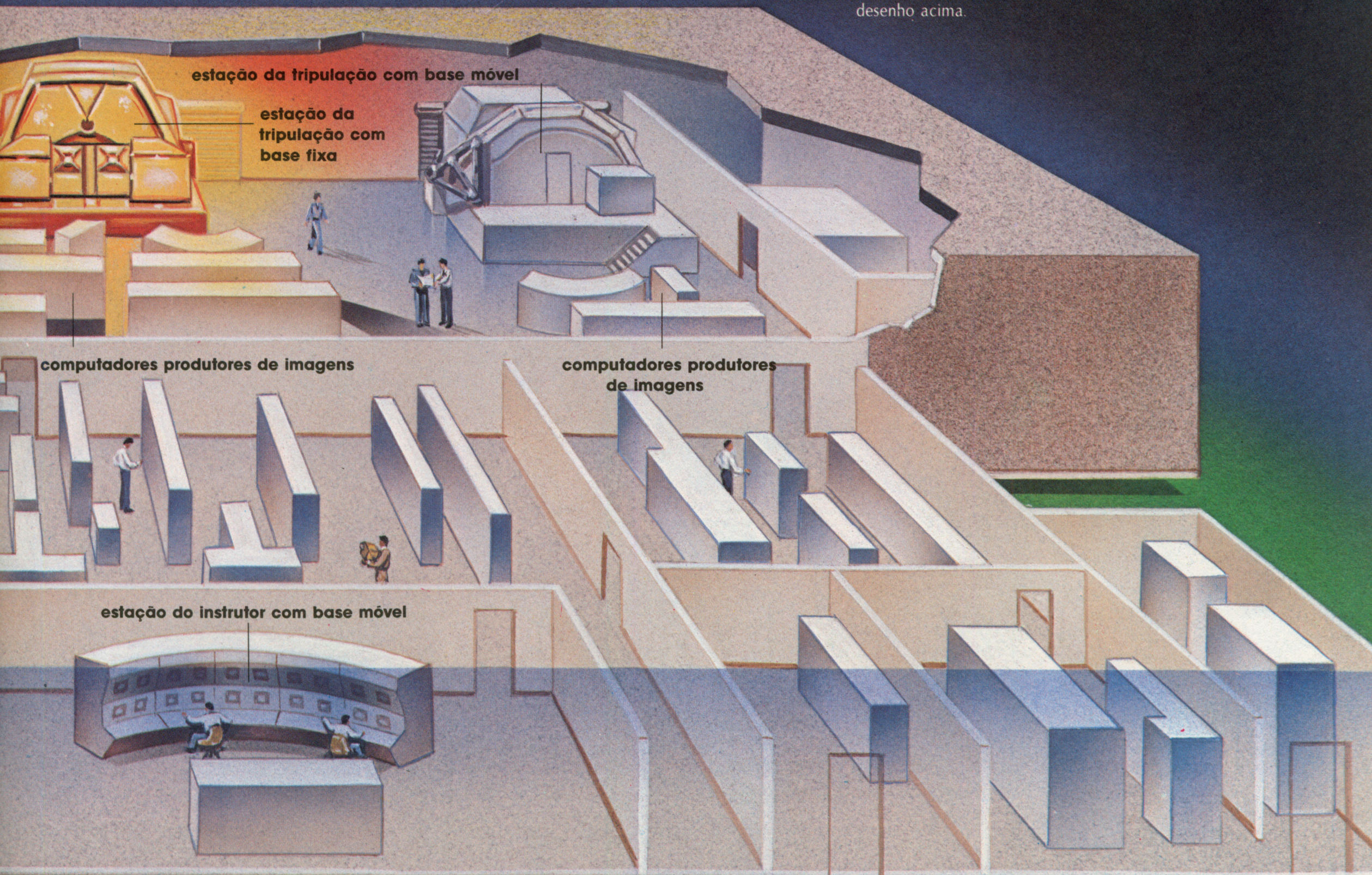
astronautas para tarefas a serem realizadas em órbita, como o lançamento do satélite descrito nas páginas seguintes. O terceiro simulador tem como função familiarizar os membros da tripulação com o Spacelab, ou laboratório espacial, um módulo encaixado dentro do compartimento de carga da nave que transporta testes científicos para o espaço.

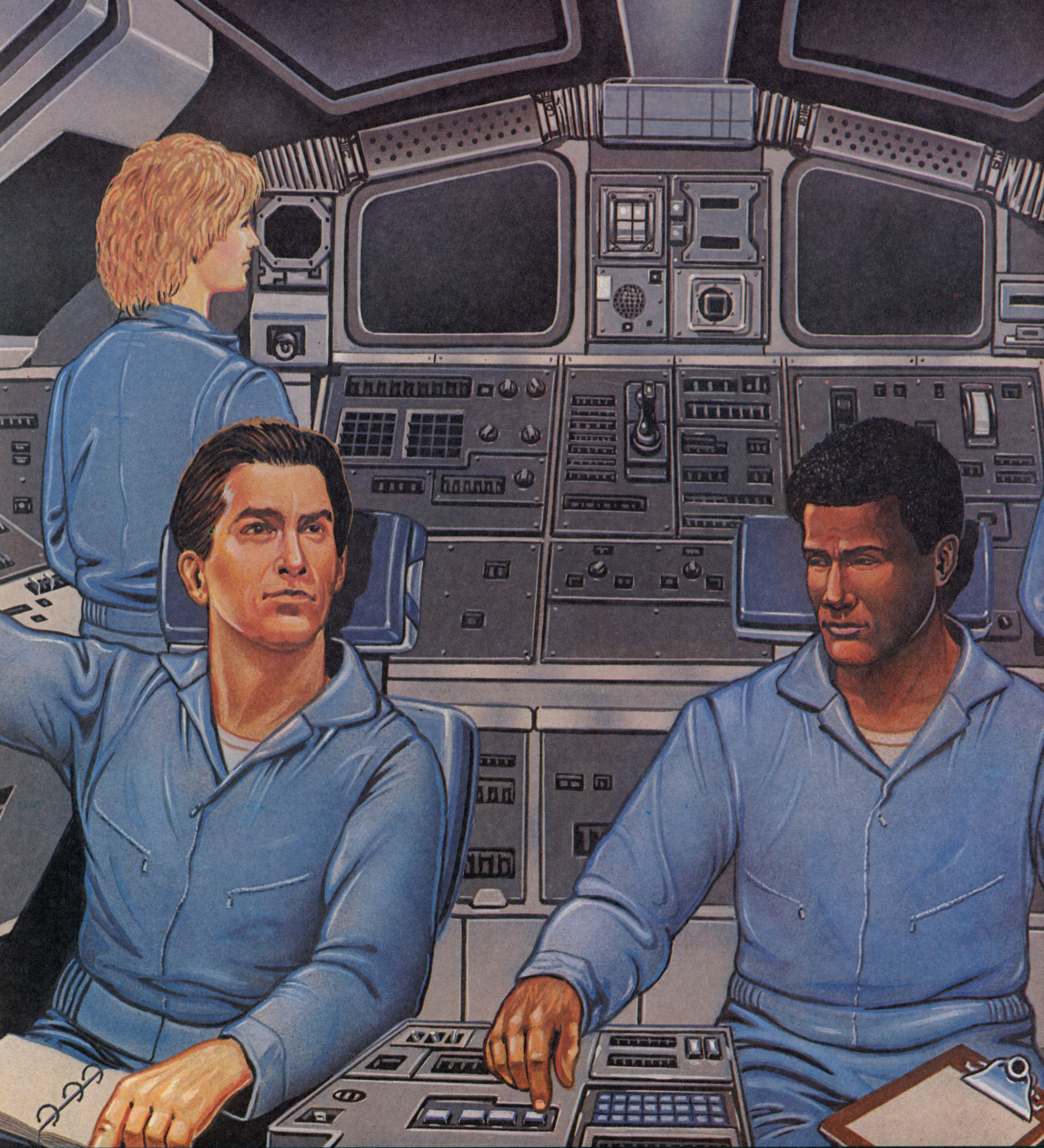
Juntas, as três estações da tripulação ocupam apenas 1/6 do centro de simulação. O restante da área está apinhado de computadores e equipamento de sustentação. Ao todo, são mais de trinta computadores divididos entre os três simuladores. Por exemplo, para operar a estação da tripulação com base fixa, um computador-fonte produz os efeitos de som do convés de vôo e coordena outros dezessete computadores, dos quais doze apresentam displays nos painéis de instrumentos, reproduzem o braço manipulador usado para lidar com o compartimento de carga e produzem vistas da Terra e das estrelas da forma como apareceriam em uma missão verdadeira. As outras cinco máquinas incumbem-se de reproduzir as atividades dos próprios computadores de bordo de uma espaçonave real.

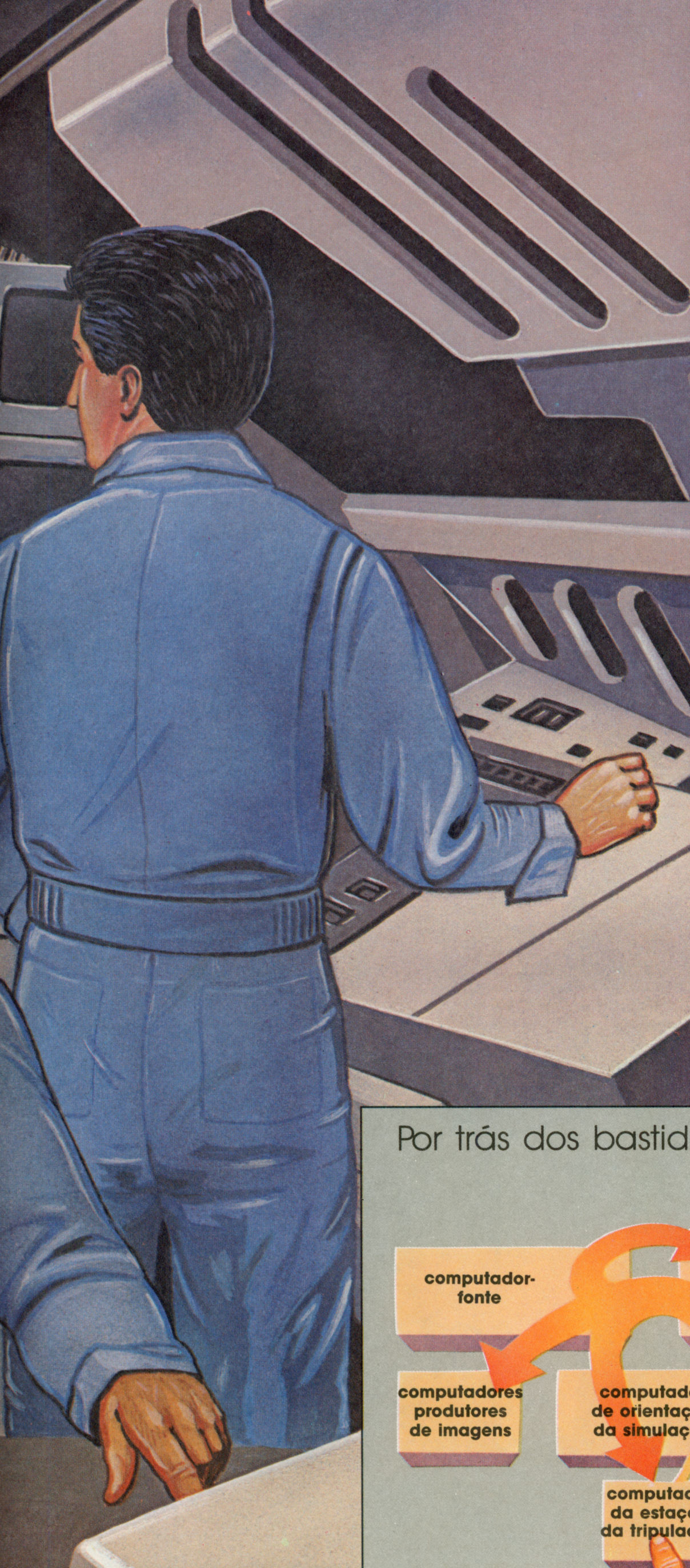




Esta vista aérea da Shuttle Mission Simulator Facility, ou Base dos Simuladores de Missões Espaciais, mostra o layout das instalações, destacando as estações do instrutor e a da tripulação com base fixa, onde os astronautas treinam para operações que envolvam os compartimentos da espaçonave indicados no desenho acima.







Exercícios digitais com a ilusão

Prelúdio para a simulação de um voo

Na estação fixa da tripulação (*abaixo*) os astronautas em treinamento preparam-se para pôr em prática o primeiro objetivo da sua fictícia viagem espacial — lançar um satélite do compartimento de carga para a órbita terrestre. Em algumas sessões de treinamento, a simulação inicia com o lançamento no Cabo Canaveral, mas neste caso o foco é mais definido. Na simulação que vamos descrever, a espaçonave já atingiu a órbita: o objetivo é lançar o satélite no horário previamente determinado.

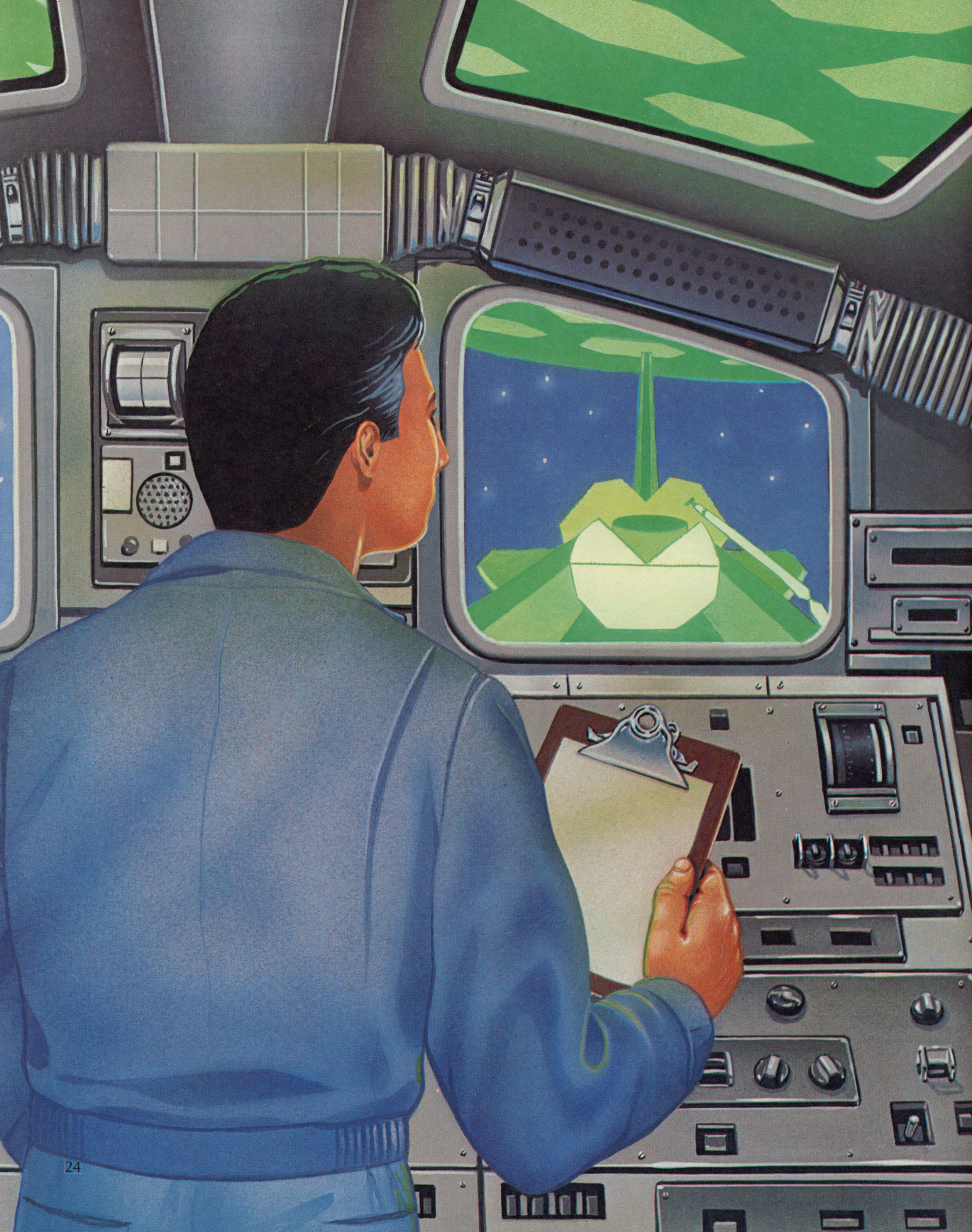
Enquanto os instrutores sentados preparam o simulador, os quatro membros da tripulação encarregam-se dos preparativos finais para o exercício. O astronauta que vemos próximo ao centro da ilustração desempenha as funções do comandante da missão, e o piloto — à direita — atuará como seu assistente. Os dois técnicos em pé ficaram incumbidos de preparar o satélite.

Sempre que um astronauta movimenta um controle, pressiona um botão, ou toca em um interruptor dentro do simulador, os computadores reagem imediatamente para reproduzir e imitar os resultados dessas ações no mundo real (*abaixo*). Dependendo da situação, o posto de pilotagem apresenta novas informações para a tripulação; as luzes no painel de instrumentos são ligadas ou desligadas; novos cenários aparecem do lado de fora, e sons realistas — o zumbido dos motores, o soprar dos ventiladores e o sibilar dos empuxadores — emanam de alto-falantes ocultos.

Por trás dos bastidores



Para os simuladores do computador, um interruptor acionado ou uma alavanca empurrada são um pedido de informação sobre a resposta da nave a um estímulo. O pedido transita pelo computador instalado na cabina da tripulação, que controla o fluxo de dados — provenientes de ou em direção aos painéis de controle e de instrumento — dirigidos ao computador de orientação da simulação, para onde convergem os dados recebidos da cabina da tripulação e das estações do instrutor e do operador. Essa máquina transfere o pedido para os computadores de bordo do simulador, que emitem ordens para que a espaçonave responda às operações da tripulação. Tais ordens são interceptadas pelo computador-fonte. Depois de calcular a reação do simulador, o computador-fonte envia os resultados em três direções: para os computadores de bordo, indicando que houve uma resposta; para os computadores instalados nas estações de orientação e da tripulação para atualizar os displays no painel de instrumentos; e, finalmente, para os computadores geradores de imagens, que determinam qual cena aparecerá do lado de fora das janelas e através das lentes das câmeras de televisão simuladas, instaladas no compartimento de carga e no braço manipulador.



Exercícios digitais com a ilusão

Navegando na órbita terrestre

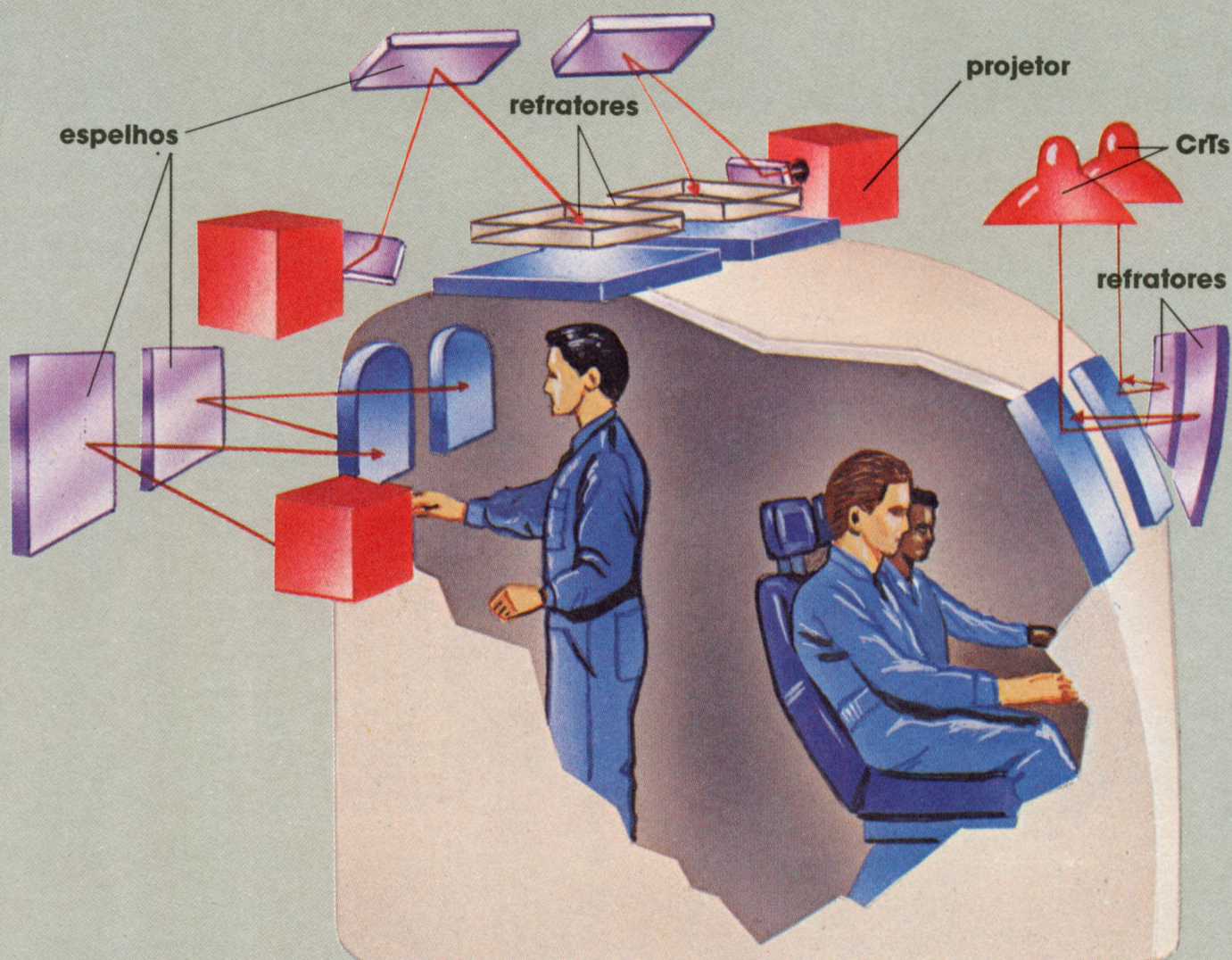
Depois de alcançar a órbita simulada, o técnico encarregado da missão ativa as portas do compartimento de carga da espaçonave, que se recolhem para revelar o satélite, dentro de um escudo de proteção solar. Depois de efetuar uma inspeção visual com cursor e de ler os sinais básicos apresentados em um display no convés de voo, o técnico da missão fechará o escudo de proteção solar por controle remoto.

Tudo que os astronautas vêem no lado de fora da cabine — o abrir das portas do compartimento de carga, o satélite com o escudo de proteção solar e o planeta Terra flutuando à distância — é resultado de um sofisticado sistema de projeção. Os computadores escolhem componentes dentre um conjunto de 50000 imagens. Essas peças são combinadas em cenas à velocidade de 25 quadros por segundo, o que faz com que adquiram um fluxo realista de movimento. Depois as imagens são projetadas para dentro das janelas (abaixo).

O processo eletrônico visto pela janela

Um sistema de projeção circunda a estação da tripulação com base fixa, a fim de lançar imagens do mundo exterior — produzidas pelo computador — contra um ou mais espelhos e para dentro da nave

pelas janelas. No caminho, as imagens passam através de refratores ópticos, que criam uma ilusão de profundidade e de perspectiva variável quando a tripulação se movimenta pela cabina.



Surge um problema

Depois de algumas horas de vôo, aproxima-se o momento de liberar o satélite. Como em uma missão real, há um lapso de tempo de apenas quinze minutos para o lançamento, denominado launch window, ou janela de lançamento. Se o satélite for liberado antes ou depois da hora, um investimento de vários milhões de dólares será lançado em uma órbita inútil.

Com bastante antecedência, o comandante da missão gira a espaçonave. As portas do compartimento de carga — que apontava em direção à Terra durante a maior parte da missão, para ajudar a regular a temperatura da nave — abrem-se totalmente em direção ao espaço no momento de liberar o satélite. Em seguida, um dos técnicos da missão ativa o sistema que abre a tampa automática do escudo de proteção solar. Nada acontece. A segunda tentativa também falha. Os instrutores sentados ao console fora da cabina de vôo haviam bloqueado a abertura do escudo protetor.

A janela de lançamento já estava aberta quando os astronautas pediram auxílio de emergência ao Controle da Missão. A tripulação usa as câmeras de televisão instaladas sobre o braço manipulador e as que se encontram no compartimento de carga, para obter, nos dois monitores de televisão, uma visão melhor do escudo de proteção solar.

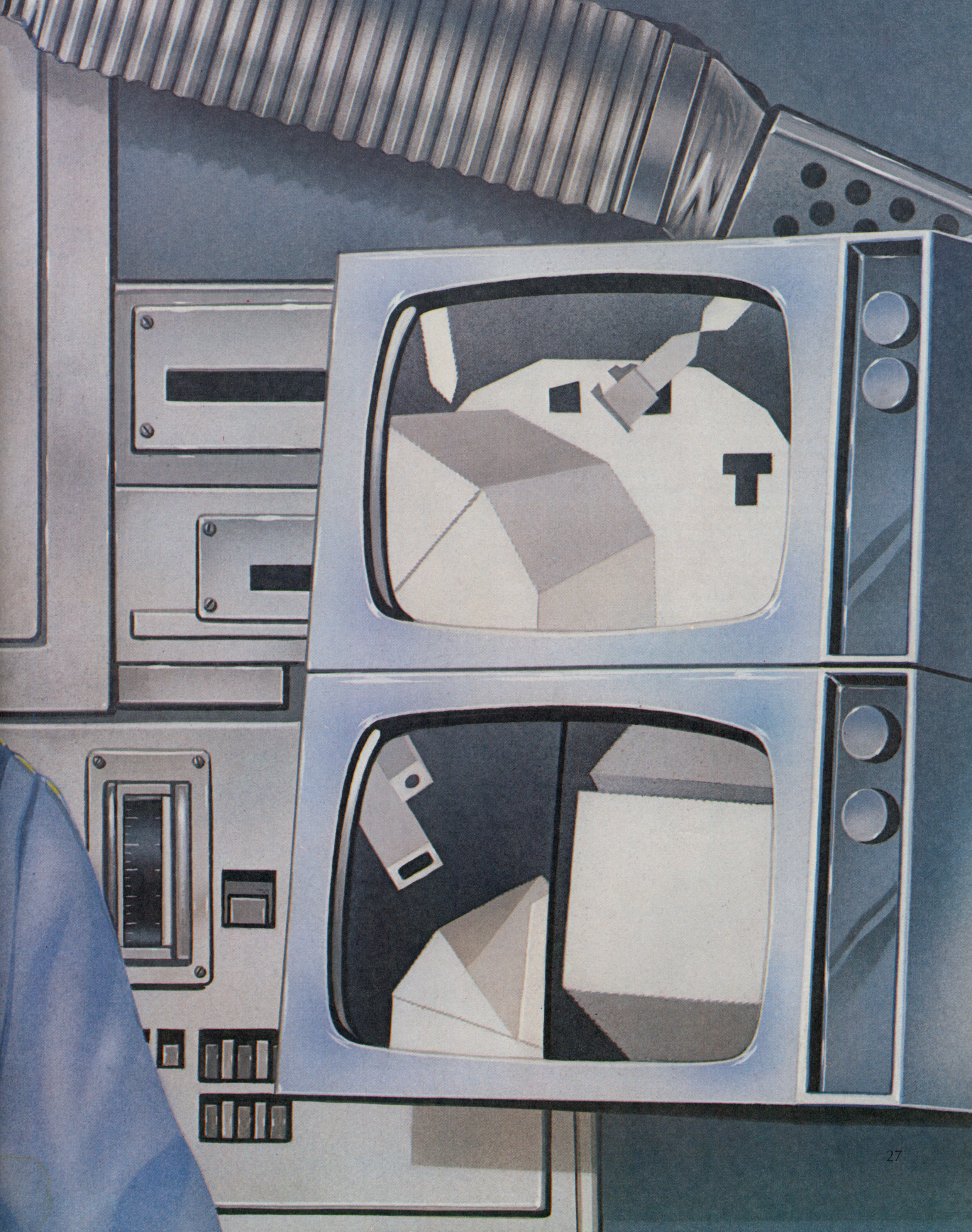
A tela superior mostra o escudo de proteção solar e o braço manipulador através das lentes de uma câmera localizada na extremidade de popa do compartimento de carga. A tela inferior está dividida ao meio. À esquerda aparece uma outra visão do escudo protetor e do braço manipulador e, à direita, o escudo protetor em close, visto por uma câmera montada sobre o braço manipulador.



Um pacote de truques

O display do computador ilustrado à direita é uma pequena amostra das quase 7 000 dificuldades que um instrutor de simulação pode evocar para desafiar os astronautas em treinamento. Neste caso, o instrutor simulou um vazamento de hélio, elemento usado para fornecer pressão ao sistema de alimentação de combustível, abastecendo os empuxadores próximos à ogiva da nave, que a mantém apontada para a direção correta. Para simular algumas dificuldades, o instrutor indica a gravidade do problema — a velocidade do vazamento de hélio, por exemplo. No caso da reprodução de outros defeitos — como a falha de um interruptor —, o instrutor transmite apenas um "sim" ou um "não" para o computador-fonte do simulador. Os defeitos são organizados por categorias: problemas de navegação, de computação, de propulsão etc. Um instrutor pode fazer a combinação de determinadas falhas em milhares de cenários. Para piorar a situação, os computadores simulam os problemas em cadeia, que resultariam da falha selecionada inicialmente pelos instrutores.

504									
NAUTP CNTRL 0PROPL SYSTM AUDIO									
A000 A001 A002 A003 A004									
10F2 DISPLAYS									
RC03	HALF ID	TYPE UNITS	RANGE	DESCRIPTION	VALUE				
RC03	PRMALL(1)	3MV LBM/SEC	0/0 01	FWD HE OX LINE LEAK	0 01				
RC03	PRMALL(2)	3MV LBM/SEC	0/0 01	LAFT HE OX LINE LEAK	0 01				
RC03	PRMALL(3)	3MV LBM/SEC	0/0 01	RAFT HE OX LINE LEAK	0 01				
RC03	PRMALL(4)	3MV LBM/SEC	0/0 01	FWD HE FU LINE LEAK	0 01				
RC03	PRMALL(5)	3MV LBM/SEC	0/0 01	LAFT HE FU LINE LEAK	0 01				
RC03	PRMALL(6)	3MV LBM/SEC	0/0 01	RAFT HE FU LINE LEAK	0 01				
RC03	PRMHTL(1)	3MV PER CENT	0/1 0	FWD HE OX TK LEAK	1 0				
RC03	PRMHTL(2)	3MV PER CENT	0/1 0	LAFT HE OX TK LEAK	1 0				
RC03	PRMHTL(3)	3MV PER CENT	0/1 0	RAFT HE OX TK LEAK	1 0				
RC03	PRMHTL(4)	3MV PER CENT	0/1 0	FWD HE FU TK LEAK	1 0				
RC03	PRMHTL(5)	3MV PER CENT	0/1 0	LAFT HE FU TK LEAK	1 0				
RC03	PRMHTL(6)	3MV PER CENT	0/1 0	RAFT HE FU TK LEAK	1 0				
RC03	PRMTKL(1)	3MV LBM/SEC	0/10 0	FWD OX TANK LEAK	1 0				
RC03	PRMTKL(2)	3MV LBM/SEC	0/10 0	LAFT OX TANK LEAK	1 0				
RC03	PRMTKL(3)	3MV LBM/SEC	0/10 0	RAFT OX TANK LEAK	1 0				
RC03	PRMTKL(4)	3MV LBM/SEC	0/10 0	FWD FU TANK LEAK	1 0				
RC03	PRMTKL(5)	3MV LBM/SEC	0/10 0	LAFT FU TANK LEAK	1 0				
RC03	PRMTKL(6)	3MV LBM/SEC	0/10 0	RAFT FU TANK LEAK	1 0				
RC03	PRMUNT(1)	3MV LBM/SEC	0/0 1	FWD HE OX RELIEF VLV	0 1				
RC03	PRMUNT(2)	3MV LBM/SEC	0/0 1	LAFT HE OX RELIEF VLV	0 1				
RC03	PRMUNT(3)	3MV LBM/SEC	0/0 1	RAFT HE OX RELIEF VLV	0 1				
RC03	PRMUNT(4)	3MV LBM/SEC	0/0 1	FWD HE FU RELIEF VLV	0 1				
RC03	PRMUNT(5)	3MV LBM/SEC	0/0 1	LAFT HE FU RELIEF VLV	0 1				
RC03	PRMUNT(6)	3MV LBM/SEC	0/0 1	RAFT HE FU RELIEF VLV	0 1				
RC03	PRMRAP(1)	3MV PSIA	0/2000	FWD HE OX REG A FAILS	256 0				
RC03	PRMRAP(2)	3MV PSIA	0/2000	LAFT HE OX REG A FAILS	256 0				
RC03	PRMRAP(3)	3MV PSIA	0/2000	RAFT HE OX REG A FAILS	256 0				
RC03	PRMRAP(4)	3MV PSIA	0/2000	FWD HE FU REG A FAILS	256 0				
RC03	PRMRAP(5)	3MV PSIA	0/2000	LAFT HE FU REG A FAILS	256 0				
RC03	PRMRAP(6)	3MV PSIA	0/2000	RAFT HE FU REG A FAILS	256 0				
RC03	PRMRBP(1)	3MV PSIA	0/2000	FWD HE OX REG B FAILS	256 0				
RC03	PRMRBP(2)	3MV PSIA	0/2000	LAFT HE OX REG B FAILS	256 0				
RC03	PRMRBP(3)	3MV PSIA	0/2000	RAFT HE OX REG B FAILS	256 0				
RC03	PRMRBP(4)	3MV PSIA	0/2000	FWD HE FU REG B FAILS	256 0				
RC03	PRMRBP(5)	3MV PSIA	0/2000	LAFT HE FU REG B FAILS	256 0				
RC03	PRMRBP(6)	3MV PSIA	0/2000	RAFT HE FU REG B FAILS	256 0				



Como evitar um possível fracasso

Cinco minutos antes de se fechar a janela de lançamento simulada, o técnico encarregado da missão detecta a possível causa do problema: um encaixe torcido havia puxado um fio do escudo de proteção solar. Ele contacta o Controle da Missão e sugere que se utilize o braço manipulador para liberar o escudo. A sugestão é aceita.

O braço manipulador não foi projetado para essa finalidade e seu posicionamento poderia causar danos à sonda encaixada na extremidade. Decididamente, o especialista da missão pressiona o escudo protetor com o manipulador. A primeira tentativa falha e a segunda, meio minuto após, também. Na terceira vez ele aplica um pouco mais força, e o escudo protetor se abre.

Agora pode-se proceder à liberação do satélite. Montado sobre uma mesa giratória, ele gira a 50 rotações por segundo para ganhar estabilidade e depois é liberado. Molas impulsoras arremessam-no ao espaço, afastando-o da nave que o transportou até aquele ponto. Em aproximadamente 45 minutos o satélite e a espaçonave estarão a uma distância segura um do outro. Só então um motor do foguete é acionado, impulsionando o satélite para a órbita pretendida.

Durante toda a operação os intrutores sentados ao console observaram o procedimento dos astronautas. Os monitores do computador localizados nas estações do instrutor duplicam não só a informação apresentada no painel de instrumentos dentro do simulador, como também as paisagens espaciais observadas pelos astronautas.

Ao final da sessão, os instrutores e a tripulação da nave fazem uma avaliação do voo. Discutem em conjunto os aspectos positivos e negativos da simulação, assim como seus motivos. Algumas vezes os erros podem ser atribuídos ao próprio simulador, que então é reprogramado para fornecer uma visão mais verdadeira da realidade. Quando os astronautas falham, as simulações futuras serão planejadas visando a aprimorar seu desempenho, para garantir a segurança e o sucesso da missão real.







As fronteiras da Lua

2



“Parecia um ataque-relâmpago”, comentou Lenoy Jimerson, engenheiro da IBM. “As pessoas não sabiam o que as havia atingido.” No dia 7 de março de 1962, uma quarta-feira, o Centro de Sistemas Eletrônicos da IBM em Owego, no Estado de Nova York, recebeu o seguinte telex da McDonnell Aircraft: *Registre ordem de compra Y20163R para fornecimento do sistema de orientação inercial para o Projeto Gemini*. O texto informava que a McDonnell havia contratado a IBM para construir um sistema de orientação semelhante àqueles instalados em foguetes. Embora poucas pessoas na fábrica soubessem exatamente o que era o Projeto Gemini, a IBM, “na sexta-feira da mesma semana já havia designado funcionários-chaves para a tarefa, e, ao final da segunda semana, estávamos em plena atividade”, declarou Jimerson.

Os funcionários da IBM logo foram informados de que o Projeto Gemini seria a próxima aventura espacial tripulada dos EUA, uma continuação do Projeto Mercury. A McDonnell estava construindo a nave espacial *Gemini*. Caberia à IBM construir o computador digital que viria a tornar-se o centro nervoso do sistema de orientação, navegação e controle da cápsula.

Até então, os únicos computadores a voar pelo espaço eram aqueles utilizados para orientação de foguetes. O computador digital da *Gemini* seria o primeiro destinado a finalidades gerais a bordo de uma espaçonave. Deveria ser instalado perto do compartimento da tripulação e substituiria os processadores de dados baseados em terra no fornecimento de orientação e no controle dos cálculos. Para os astronautas da *Gemini*, o computador prometia uma ligação livre com a Terra. Para a IBM, representava um incrível desafio: comprimir a tecnologia encontrada nos computadores de grande porte, até encaixá-la dentro de uma cápsula espacial. John Lenz, diretor do projeto na IBM, gostou dessa tarefa de “acomodar uma geladeira em uma gaveta de talheres”.

O NASCIMENTO DA GEMINI

O Projeto Gemini fora anunciado pela NASA com apenas três meses de antecedência e encaixado entre o Programa Mercury em curso e o Projeto Apolo — a concretização da promessa norte-americana de levar o homem à Lua. O planejamento do Projeto Apolo já se desenvolvia havia quase dois anos e começara com estudos sobre a melhor maneira de proceder à alunissagem.

De início, muitos cientistas da NASA imaginavam que os astronautas seriam enviados para a Lua, pousariam em sua superfície e retornariam à Terra a bordo de um só veículo. Esse plano dependia da construção de um gigantesco foguete auxiliar, suficientemente possante para romper a força de gravidade da Terra transportando uma espaçonave carregada de combustível para a viagem de volta. O veículo de lançamento proposto era um foguete experimental denominado *Nova*. Com uma força de empuxo para 10 000 toneladas, o *Nova* seria quase sessenta vezes mais possante que os foguetes *Atlas*, lançadores das cápsulas *Mercury* (com 1,8 kg) em órbita. Entretanto, quando o Projeto Apolo começou, o *Nova* ainda se limi-

tava às pranchetas, e muitos peritos duvidavam que um foguete tão poderoso pudesse ser construído antes do prazo final de dez anos anunciado pelo presidente Kennedy.

Dentre os céticos encontrava-se Werner von Braun, do Centro Espacial George C. Marshall da NASA, fundado em 1960 com parte da equipe do Redstone Arsenal, do Exército, para o controle civil da nova agência espacial. Von Braun sugeria a construção de uma nave lunar no espaço. Seu plano presumia o lançamento de vários pequenos foguetes, cada um deles transportando parte da espaçonave para a órbita da Terra, onde ela seria montada. Uma vez terminada a montagem, os astronautas viajariam até o local, de onde partiriam para o voo rumo à Lua.

A terceira possibilidade exigia o uso de uma técnica denominada encontro na órbita lunar (LOR, ou *lunar-orbit rendezvous*), uma idéia defendida quase exclusivamente pelo engenheiro da NASA, John Houbolt, que dirigia um pequeno grupo de estudos no Centro de Pesquisas Langley, em Hampton, na Virgínia. Uma nave-base ficaria girando na órbita da Lua enquanto uma pequena nave desceria à superfície lunar, retornando em seguida.

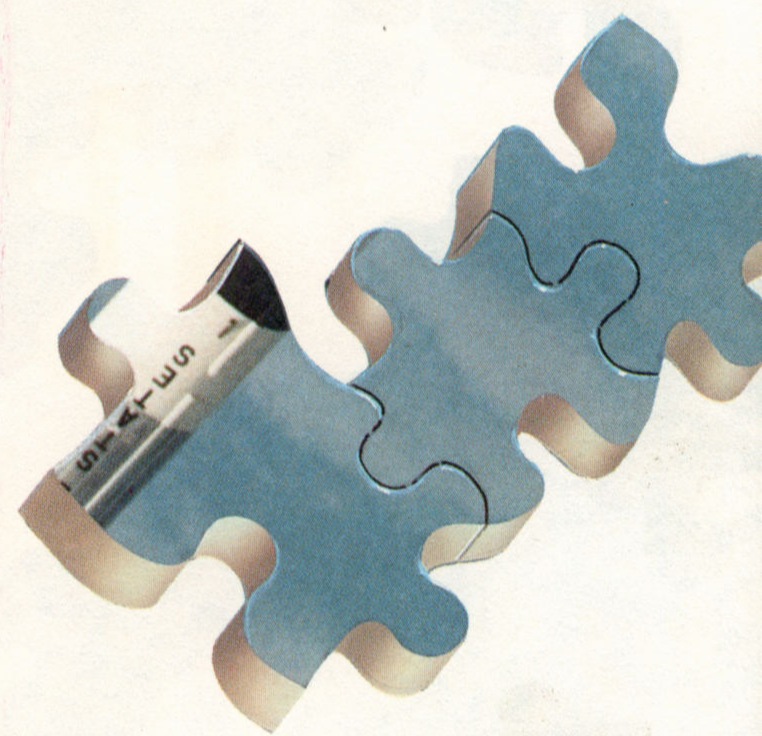
Já em 1961, os visionários das viagens espaciais haviam teorizado sobre esse procedimento, que minimizaria as necessidades de potência e combustível para o pouso e a decolagem lunar. Porém Von Braun, entre outros peritos, julgava o encontro na órbita lunar uma manobra complicada, caso o encontro falhasse além da esfera de alcance do auxílio terrestre, com alto risco de vida.

Em fins de 1961, uma escalada direta rumo à Lua teve que ser descartada: era improvável que o gigantesco foguete Nova fosse construído a tempo. Restava, portanto, usar a estratégia do LOR — mantida em pauta graças à persistência de Houbolt — ou montar uma nave espacial na órbita terrestre. Ambos os planos exigiam o aperfeiçoamento de duas técnicas ainda não testadas e potencialmente perigosas: o encontro em órbita e o acoplamento de duas naves no espaço. Além disso, antes de qualquer excursão lunar, fazia-se necessário que a NASA provasse que os astronautas seriam capazes de sobreviver a uma longa jornada, que poderiam deixar a espaçonave e aventurar-se com segurança no espaço, e finalmente que estariam aptos a navegar sem o auxílio da Terra. Enquanto aguardava a decisão final sobre o Projeto Apollo, a NASA formulava planos para a solução desses detalhes. O projeto foi batizado de Gemini, em homenagem aos gêmeos astrais do Zodíaco e para evocar o objetivo principal da missão — o encontro entre duas espaçonaves — e os dois astronautas encarregados de levá-la a cabo.

O Projeto Gemini foi rapidamente desenvolvido. Entre abril e setembro de 1962, a NASA escolheu nove astronautas que, juntamente com os três pilotos veteranos do Projeto Mercury, começaram a se preparar em Houston, no Texas, onde se iniciara a construção do novo Centro de Vôos Espaciais Tripulados. Na fábrica da McDonnell Aircraft em St. Louis, no Missouri, construíam-se as primeiras espaçonaves *Gemini*; os foguetes *Titan II* — que lançariam a cápsula em órbita — estavam sendo desenvolvidos pela Martin Marietta Corporation, em Baltimore, Maryland, e, em Owego, os engenheiros da IBM lutavam contra o tempo para terminar o computador até o outono.

UM SISTEMA CALCULADO PARA NAVEGAÇÃO, ORIENTAÇÃO E CONTROLE

O primeiro computador da IBM para a *Gemini*, entregue em maio de 1963, era um protótipo do produto final, sem grandes atrativos. "Imagine uma caixa repleta



de cabides em todas as direções. Algo bastante grosseiro, comparado aos computadores de hoje”, comentaria o astronauta Wally Schirra, mais de vinte anos depois.

A máquina pesava 28 kg, apenas 1 kg abaixo dos limites estabelecidos pela NASA, e estava encaixada em um recipiente de formato irregular, com aproximadamente 50 centímetros de comprimento, encurvado em um dos lados para ser acomodado contra a parede interna da cápsula. O conjunto de circuitos aritméticos e lógicos compunha-se de milhares de componentes eletrônicos — sobretudo diodos e transistores — hermeticamente acondicionados sobre camadas de placas de interconexão. Um composto de epóxi protegia os transistores contra choques e excessos de temperatura.

Ao contrário da espaçonave *Mercury* — que, por ser praticamente desprovida de capacidade de manobra, era obrigada a seguir um caminho determinado pela trajetória de seu foguete auxiliar *Atlas* —, a nave *Gemini*, mais ágil, estava equipada com um sistema de manobra orbital de precisão, composto por uma série de empuxadores e jatos de controle de posição, instalados ao alcance fácil do comandante. A principal função do computador seria informar os astronautas quando e por quanto tempo esses dispositivos deveriam ser acionados para manobrar a cápsula.

Em linhas gerais, a missão *Gemini* consistia de uma ascensão dirigida e inserção em órbita, seguidas por uma série de complexas manobras orbitais. Uma série de movimentos menores, minuciosamente sintonizados, viria na seqüência, culminando no encontro dos astronautas e finalmente no contato com a espaçonave-alvo. Só então, a nave retornaria à Terra. Programaram-se softwares para cada uma dessas fases — assim como para alguns procedimentos de checagem antes do voo —, e o programa foi dividido em cinco módulos: pré-lançamento, escalada, voo orbital e emparelhamento, encontro e reentrada. Os astronautas selecionariam o módulo correto simplesmente girando um interruptor.

O software programado para o pré-lançamento orientava uma rotina de diagnóstico para checar o computador antes do voo. O programa para a escalada permitia que o computador funcionasse como backup para o sistema de orientação do *Titan* — comandando a velocidade e a direção do foguete auxiliar — e estivesse a postos para emitir ordens de manobras, caso ocorresse uma falha no sistema do foguete, controlado por rádio.

Quando a cápsula estivesse em órbita, o computador funcionaria como parte de um intrincado sistema de navegação, orientação e controle, que incluía a rede de rastreamento da espaçonave sediada no Centro Goddard, em Maryland, que havia sido criada para o Projeto *Mercury*. No Cen-

tro de Controle da Missão, em Houston, um computador de grande porte IBM 7094 comandaria a maior parte das tarefas relativas à navegação e à orientação. Para determinar a exata posição da aeronave e sua trajetória, o Centro de Controle utilizaria a informação sobre rastreamento fornecida pelo Centro Goddard. O “estado vetor” da nave — sua velocidade de posição em uma determinada hora — poderia, dessa forma, ser conhecido. Um programa denominado Delta-V Externo — “Delta-V” devido às anotações científicas para alterações de velocidade prescritas pelo software ao longo de cada um dos três eixos (para cima e para baixo, para trás e para frente, de um lado para outro); e “Externo” porque os cálculos do programa eram efetuados fora da espaçonave, em terra — reuniria esses dados para ajudar a cápsula na trajetória correta.

Os resultados dos cálculos do programa Delta-V seriam transmitidos por rádio para a espaçonave, e o piloto os introduziria em um teclado de dez dígitos localizado à direita do painel de instrumentos. O computador, usando o módulo para voo orbital do software, processaria os dados e enviaria os resultados a um instrumento chamado *Incremental Velocity Indicator* (IVI, ou Indicador de Velocidade Incremental), montado à frente do comandante do voo. Composto de três contadores, o IVI mostrava — para cada eixo — a diferença entre a velocidade corrente da cápsula e a velocidade necessária para efetuar a manobra. Após acionar os empuxadores, o comandante prosseguiria a combustão até os mostradores do IVI marcarem zero — a chamada “combustão para zero”.

Os cálculos Delta-V Externo orientariam a maior parte das manobras de voo, incluindo aquelas necessárias para um veículo aproximar-se do outro. No entanto, quando apenas algumas centenas de quilômetros separassem os dois veículos, o comando da missão passaria para o software do computador a bordo da nave seguidora, programado para o encontro das espaçonaves. Utilizando a informação de rastreamento recebida pelo sistema de radar de bordo, o computador calcularia a velocidade e os ajustes de atitude necessários para a aproximação final.

Uma transferência semelhante de responsabilidade — das estações terrestres para a espaçonave — ocorreria no fim da viagem. O mecanismo controlador da reentrada consistia de retrofoguetes que diminuíam a velocidade da nave enviando-a em direção à Terra, e de uma série de jatos de controle usados para manobrá-la em direção ao ponto de aterrissagem. Pouco antes de acionar os retrofoguetes, a tripulação transferia o computador para o modo “reentrada”, que recolhia dados provenientes da unidade de medida inercial da nave (IMU) — uma série de giroscópios e acelerômetros que percebiam mudanças de atitude e velocidade. A escolha do momento para o retrodisparo dos foguetes era determinada pelo computador em Houston, mas depois que a espaçonave tivesse adentrado a atmosfera, um computador de bordo começaria a usar os dados IMU para calcular os comandos para a manobra. A memória do computador, capaz de acomodar todos os cinco módulos de software — assim como os dados introduzidos pelo piloto da espaçonave —, era do tipo chamado memória de núcleo. Do tamanho de um pequeno filão de pão, a memória consistia de 159 744 minúsculas pastilhas perfuradas, ou núcleos magnéticos, feitos de ferita, um composto de ferro facilmente magnetizado. Os programas ou dados expressos em bits eram carregados para a memória através da magnetização dos núcleos no sentido horário ou anti-horário: um sentido significava um “1”; o sentido oposto significava um “0”. A grande vantagem desse tipo de memória é que ela nunca se esquece. Ao contrário das memórias

dos computadores modernos — em que os dados existem como cargas elétricas que se perdem imediatamente ao ser interrompido o fornecimento de energia —, a memória magnética do computador da *Gemini* não sofreria de amnésia no caso de falta de energia elétrica. Isso permitia aos astronautas conservar energia desligando o computador durante as longas estadas em órbita.

Embora a NASA mantivesse a política dos sistemas redundantes sempre que possível, a cápsula *Gemini* não tinha condições de acomodar um computador de reserva. Para reduzir as chances de que um backup fosse necessário, a IBM submeteu as máquinas a uma rigorosa rodada de testes. Em Owego, os componentes eram aquecidos, resfriados e submetidos a um vácuo, e todas as unidades foram sujeitas a trepidações e vibrações semelhantes às que acompanhariam a decolagem.

Os computadores aprovados no teste passavam para um laboratório de diagnósticos, onde executavam missões simuladas por um computador de grande porte IBM 7094. Assim, no caso de problemas imprevisíveis no espaço, os engenheiros das estações terrestres testariam as possíveis soluções, enviando as respostas para os astronautas através do Centro de Controle da Missão.

Enquanto se preparava para a primeira viagem tripulada do Projeto Gemini, o astronauta Gus Grissom visitou a fábrica da IBM em Owego e submeteu um dos computadores à prova do simulador. Depois ele fez um rápido e animado discurso, agradecendo a contribuição dos engenheiros e técnicos. “Graças a vocês, não vou para o espaço fazendo figas para que tudo dê certo.”

REGENDO UM “PAS DE DEUX” ORBITAL

No dia 23 de março de 1965, após dois testes não tripulados com a cápsula, Grissom e o astronauta principiante, John Young, embarcaram na *Gemini III* — alegremente apelidada de Molly Brown, personagem de uma peça da Broadway cujo lema era “nunca pronuncie a palavra morte” — para a missão ensaiada pelo veterano piloto da Mercury, em Owego. Nove meses antes do verdadeiro encontro orbital, o computador fez sua estréia praticamente como um espectador. O voo — três voltas completas ao redor da Terra sem qualquer manobra em órbita — exigiria pouco da máquina. O único teste significativo seria efetuar os cálculos para a reentrada na atmosfera, e mesmo isso seria desnecessário, já que as manobras haviam sido planejadas com antecedência com base nos testes realizados em túneis aerodinâmicos. A NASA estava tão insegura quanto à capacidade do sistema de controle de dirigir a reentrada que instruiu Grissom e Young para desconsiderar as ordens do computador caso diferissem daquelas obtidas através dos testes.

O computador discordou das previsões realizadas durante os testes no túnel aerodinâmico e os dois astronautas, obediamente, o ignoraram. *Molly Brown* foi manobrada em direção a um ponto de amerissagem quase 100 quilômetros distante da equipe de salvamento, e os astronautas passaram desconfortáveis trinta minutos no mar encapelado à espera de resgate. Uma análise posterior provou que o computador estava certo. Se Grissom seguisse as instruções do computador, provavelmente a espaçonave teria amerissado mais próxima ao ponto de resgate.

Del Babb, gerente de produto da IBM, e seu grupo mal tiveram tempo para comemorações quando a máquina a bordo da *Gemini IV* causou-lhes embaraços, em uma demonstração pública de incompetência. Ao final do terceiro dia de uma missão de quatro dias, quando a *Gemini IV* preparava-se para completar sua 48ª volta ao redor da Terra, o sistema de força do computador falhou. Os astronautas

James McDivitt e Edward White não puderam utilizar a máquina para recolher os dados sobre atitude e velocidade — necessários a uma reentrada controlada — e muito menos extrair dela quaisquer instruções de manobra. Depois que os retrofoguetes foram acionados, e a cápsula entrou na atmosfera terrestre, McDivitt manobrou-a de acordo com as instruções de reserva previamente processadas em terra.

Desde os tempos da *Vanguard* a IBM fazia questão de preservar sua ligação com o programa espacial norte-americano. Agora, o vexame do computador era amplamente comentado pela imprensa. A Marinha recuperou a máquina e enviou-a para uma base aérea de onde foi retirada por Babb. Durante dois meses e meio, os engenheiros da IBM trabalharam febrilmente — “um trabalho de análise de erro jamais visto”, comentou Babb. No entanto, a fonte do problema permaneceu um mistério e, logo após o computador da *Gemini V* ter executado a missão sem nenhum sinal de falhas, a busca foi encerrada.

Os computadores *Gemini* lançados no espaço em seguida dissiparam quaisquer restrições anteriores, graças ao seu ótimo desempenho como maestros do primeiro encontro orbital ocorrido em dezembro de 1965 entre as naves *Gemini VI* e *Gemini VII*. Lançada em 4 de dezembro, a *Gemini VII* levava a bordo os astronautas Frank Borman e James Lovell, que permaneceram em órbita durante 13 dias, 18 horas e 35 minutos, a duração de uma missão *Apolo*, e que estabeleceu o recorde de resistência no espaço. A *Gemini VII* era o objetivo de Walter Schirra e Thomas Stafford, que decolaram em 15 de dezembro a bordo da *Gemini VI*.

A *Gemini VI* havia sido, propositadamente, lançada em uma órbita inferior à da *Gemini VII*. Devido a isso — e às leis da física que regem os vãos dos satélites — o comandante de voo Schirra e o piloto Stafford circundavam o globo mais rápido do que a *Gemini VII*. Em poucas horas alcançariam os 2 000 quilômetros de distância para rastrear seu alvo — sob o qual, quilômetros abaixo, deslizariam. Paradoxalmente, a solução seria acelerar, pois a única maneira de levar um objeto a uma órbita diferente é arremessá-lo através de velocidade progressiva. Porém, como uma órbita mais elevada também diminui a velocidade, a tripulação da *Gemini VI* precisou cronometrar os aumentos repentinos de aceleração, para que finalmente a nave se emparelhasse, em altitude e velocidade, com a *Gemini VII*, e a distância entre as naves se reduzisse a alguns poucos metros. Schirra descreveu o processo como “um pequeno balé”.

A primeira parte do *pas de deux* celestial foi coreografada pelo computador em Houston, que usou os cálculos Delta-V Externo para determinar quando e onde Schirra deveria acionar os empuxadores e então efetuar os ajustes orbitais necessários. Schirra fez sua primeira tentativa, quando o Centro de Controle da Missão em Houston instruiu a *Gemini VI* para aumentar a velocidade em 400 centímetros por segundo — aproximadamente 30 quilômetros por hora. O piloto Stafford perfurou os números nas chaves do computador, e o Indicador de Velocidade Incremental (IVI) de Schirra registrou os aumentos de velocidades exigidos. Quando a cápsula sobrevoou Nova Orleans, Schirra acionou os empuxadores durante quinze segundos. Duas correções suplementares de velocidade trouxeram a *Gemini VI* para o âmbito do radar da *Gemini VII* — cerca de 400 quilômetros à frente e aproximadamente 24 quilômetros acima. Nesse momento, Stafford acertou o computador para o modo “encontro”, onde ele começou a usar os dados recebidos do radar da espaçonave, fazendo, dessa forma, com que a nave descrevesse uma curva

suave a fim de se colocar frente a frente com a *Gemini VII*.

Às 14h33 do mesmo dia — quase seis horas após o lançamento — Schirra moveu sua espaçonave para a frente da *Gemini VII*, e emparelhou perfeitamente com a velocidade e direção do alvo. As duas naves permaneceram bem próximas por cinco horas, movimentando-se a uma distância que variava entre 90 metros e o espaço necessário para um aperto de mãos. Em um determinado momento, Schirra e Stafford descreveram círculos lentos à volta de Borman e Lovell. O encontro em órbita — manobra de importância crucial para as missões espaciais futuras — se realizara com surpreendente naturalidade.

À medida que os vôos do Projeto Gemini tornaram-se mais complexos, os programas de computação destinados às missões espaciais também se sofisticaram. Em 1965, por ocasião da missão *Gemini VII/VI*, o software ameaçava ultrapassar a capacidade de memória de núcleo com 39 000 palavras de 13 bits. Prevendo esse problema, a IBM havia contratado o Raymond Engineering Laboratory em Connecticut, para construir um dispositivo chamado Memória com Fita Auxiliar (ATM, Auxiliary Tape Memory), que armazenava os módulos dos programas em um carretel de fita de gravação magnética o tempo que fosse necessário. O acionador da fita, com 12 kg, tinha capacidade para 90 000 palavras, espaço suficiente para armazenar os programas indispensáveis.

A primeira viagem da ATM ao espaço ocorreu em 16 de março de 1966, a bordo da *Gemini VIII*. Os astronautas Neil Armstrong e David Scott deveriam aproximar com cautela a ogiva de sua nave do porto de acoplamento preso a um foguete Agena, previamente lançado em órbita. A manobra foi executada sem problemas, no entanto, meia hora depois, o foguete Agena e a cápsula *Gemini*, ainda acoplados, começaram a girar como uma centrífuga gigante. Armstrong afastou-se do Agena, esperando fazer parar os rodopios da espaçonave. Mas a *Gemini VIII* girava cada vez mais rápido, à atordoante velocidade de 1 rotação por segundo.

A ponto de perder a consciência, Armstrong percebeu que um empuxador disparara espontaneamente, acelerando a rotação. Interrompeu então o fornecimento de energia para o jato com defeito, e, como último recurso para fazer parar as rotações, acionou um dos conjuntos de empuxadores de controle de reentrada. A manobra funcionou, mas exauriu o combustível para aqueles foguetes e deixou Armstrong e Scott com apenas um conjunto de reserva. A política da NASA determinava o aborto de uma missão caso um sistema crítico estivesse comprometido, e assim os dois astronautas receberam ordens para voltar à Terra o mais rápido possível. Nesse caso, a amerissagem ocorreria no oceano Pacífico e não na área anteriormente determinada, no Atlântico. Eles recorreram à ATM para recarregar o programa de reentrada no computador. O modelo anterior do mesmo aparelho fora reprovado em um teste de vibração realizado em laboratório, e os controladores em terra aguardaram apreensivos durante seis minutos enquanto se transferiam os dados. Apesar das rotações anteriores da espaçonave, a transferência ocorreu tranquilamente, e os cálculos do computador ajudaram os astronautas a manobrar a nave em direção ao local estipulado para pouso de emergência, e o fizeram a apenas 12 quilômetros do navio de resgate.

Após a atribulada viagem de Armstrong e Scott, os vôos *Gemini* prosseguiram sem problemas durante mais um ano. Em novembro de 1966, quando a *Gemini XII* retornou da missão final do projeto, o programa atingira todos os seus objetivos. Em apenas dois anos, os Estados Unidos haviam lançado dez espaçonaves

tripuladas para a órbita da Terra, e firmado sua posição, ante a União Soviética, na corrida espacial. Outros tipos de missões e atividades extraveiculares (EVA) no espaço tornaram-se quase um lugar-comum. Os astronautas norte-americanos aprenderam a manobrar suas naves no espaço com total segurança e o desempenho do pequeno computador *Gemini* demonstrou que os computadores haviam-se tornado um valioso trunfo nos vôos espaciais tripulados.

INSPEÇÃO FINAL DA APOLO

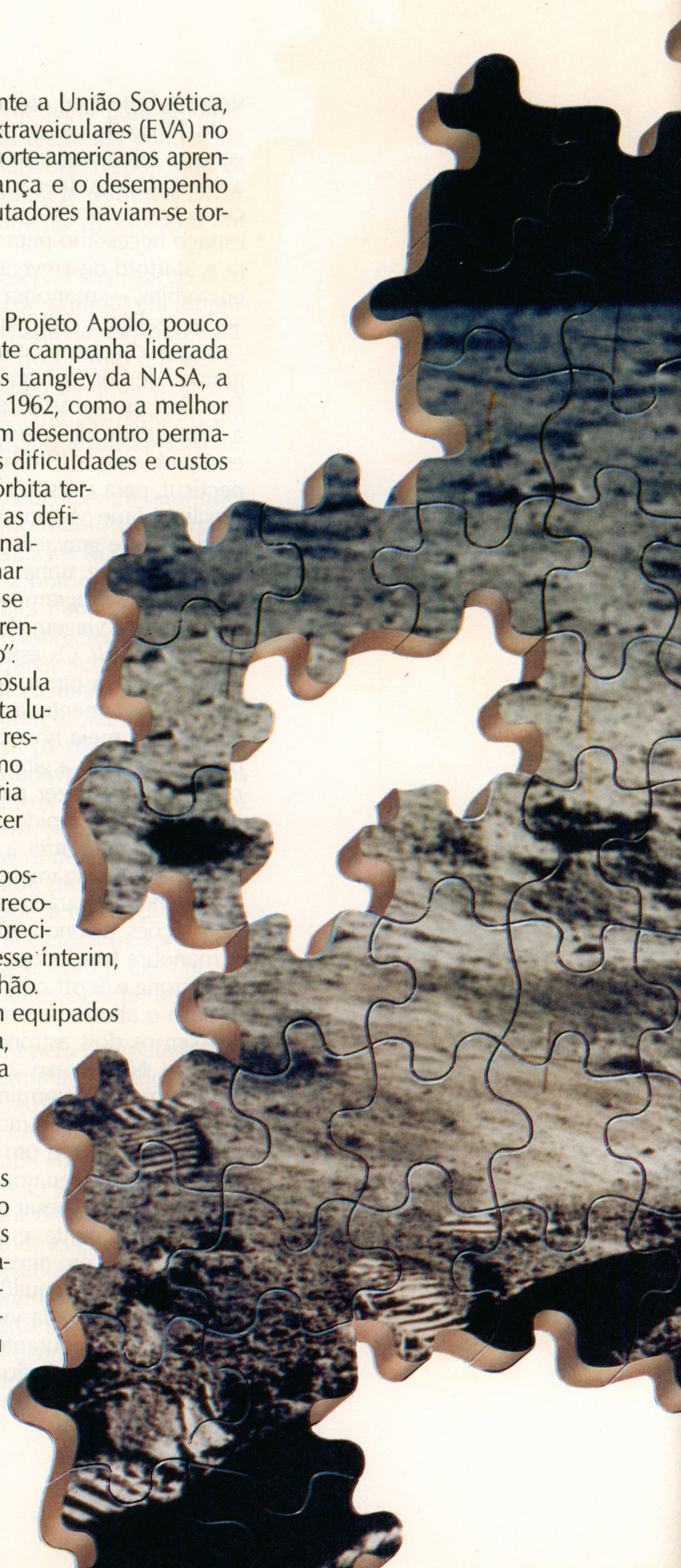
Enquanto o Projeto Gemini ocupava o centro do palco, o Projeto Apolo, pouco a pouco tomava forma. Devido em grande parte à persistente campanha liderada por John Houbolt e seus seguidores no Centro de Pesquisas Langley da NASA, a idéia do encontro em órbita lunar emergira, em meados de 1962, como a melhor estratégia para realizar a missão de ir à Lua. Os riscos de um desencontro permaneciam, mas foram relegados a segundo plano em vista das dificuldades e custos de construção e montagem de uma espaçonave em plena órbita terrestre, como exigia o projeto de Von Braun. Reconhecendo as deficiências de sua própria abordagem, o engenheiro alemão finalmente reconheceu que a técnica do encontro em órbita lunar (LOR) oferecia "o mais alto coeficiente de segurança" para se chegar à Lua, em menos tempo. Assim que Von Braun se rendeu, Houbolt comentou: "o último obstáculo foi removido".

Dois veículos interconectados seriam utilizados. Uma cápsula — o módulo de comando — levaria três astronautas à órbita lunar. Fixado à parte traseira, um módulo de serviço ficaria responsável pelo sistema de suporte de vida e pelo mecanismo de propulsão. A segunda nave, o módulo de alunissagem, iria desprender-se da frente do módulo de comando para descer na Lua.

Como os astronautas da Apolo viajariam sem quaisquer possibilidades de receber assistência da Terra, os planejadores reconheceram que os computadores de bordo da espaçonave precisavam ser os mais eficientes jamais enviados ao espaço. Nesse ínterim, complicava-se a tarefa de impulsionar a espaçonave do chão.

Ambos os veículos programados para chegar à Lua seriam equipados com milhares de componentes. Para garantir sua segurança, cada um deles teria que ser testado repetidas vezes, tanto na fábrica quanto na plataforma de lançamento, no Cabo Canaveral. Para Thomas Walton, um engenheiro de testes autônomo, tal perspectiva parecia um pesadelo. Walton fora designado para realizar as inspeções finais antes do vôo das cápsulas Mercury. Na época, os planos para o Projeto Apolo ainda estavam sendo elaborados. Nascia a era espacial, mas os métodos de teste estavam apenas um pouco mais avançados do que aqueles usados para aviões. "Literalmente iríamos passar centenas de cabos através da porta de segurança e prendê-los a várias peças na espaçonave", comentou Walton.

Cada cabo transportava informação sobre uma deter-





minada função da espaçonave para uma sala onde essas informações apareciam como curvas irregulares marcadas por registradores em tira com tinta sobre papel, ou como movimentos de agulhas em gabaritos ou mostradores. Para checagem dos componentes os engenheiros comparavam as leituras com os quadros e tabelas dos valores corretos. Durante a contagem regressiva de lançamento, essa lenta aferição ocorria na própria plataforma de lançamento, com a espaçonave já encaixada no foguete auxiliar e sua perigosa carga de combustível explosível.

Para Walton, as inspeções gerais da nave *Mercury* — com menos de cem medições efetuadas na plataforma de lançamento — eram bastante difíceis. A idéia de se aplicar os mesmos métodos para a nave *Apolo*, que exigiria 2 000 medições, aterrorizava-o.

DOIS SISTEMAS PARA UM LANÇAMENTO SEGURO

A primeira providência de Walton foi planejar uma estação terrestre experimental cujo objetivo seria calcular os dados de inspeção final da nave *Mercury*, onde um computador digital substituiria a série de gabaritos e mostradores. O centro de testes improvisados provou a seus superiores que os dados de engenharia estariam menos sujeitos a erros de leitura se exibidos sob forma de números. Além disso, o computador livrava os engenheiros dos quadros e tabelas, já que poderia ser programado para informar se um componente havia sido ou não aprovado em determinado teste.

Em 1962, Walton, juntamente com um colega, Gary Woods, foi autorizado a montar o sistema de inspeção final automatizada da nave *Apolo* e começou a procurar o equipamento adequado. Era necessário um computador com capacidade para administrar pelo menos 200 000 operações lógicas por segundo — velocidade atingida por pouquíssimos computadores da época. Após uma detalhada pesquisa sobre as máquinas disponíveis, os dois engenheiros encontraram um minicomputador bastante rápido, chamado CDC 160G, fabricado pela Control Data Corporation. Um par dessas máquinas formou o núcleo daquilo que veio a ser conhecido como sistema de equipamento de aceitação para inspeção final, ou ACE, do inglês *acceptance check-out equipment system*. Um dos computadores lidava com a transmissão chamada enlace para cima, enviando a vários pontos de teste da espaçonave os comandos que simulavam as condições típicas de um voo. O outro computador lidava com o enlace para baixo, processando os dados retransmitidos da espaçonave e de determinados equipamentos, tais como tanques de combustível. A transmissão de dados se dava bidirecionalmente por cabos coaxiais, capazes de transportar múltiplas transmissões atra-

vés de uma única linha. Dessa forma o emaranhado de fios usados na inspeção final da nave *Mercury* era eliminado. O ACE apresentava os resultados dos testes sob a forma de números ou letras. Caso a leitura em questão estivesse fora dos limites predeterminados — indicando muita ou pouca pressão recebida de uma bomba de combustível —, os dígitos piscavam, atraindo a atenção do engenheiro.

Em fins de 1965, o ACE passou por sua primeira grande prova no Cabo Kennedy, por ocasião da inspeção final de uma espaçonave *Apolo* não tripulada. O sucesso fora previsto. Walton e Woods supervisionaram também a instalação de catorze estações ACE suplementares, que executariam testes e inspeções finais em fábricas na Califórnia, Nova York e Texas, onde se produziam os módulos de comando, de serviço e de alunissagem.

Nesse ínterim, desenvolvia-se um outro sistema para testes pré-vôo do *Saturno* V. A equipe de Werner von Braun cuidava disso, no Centro Espacial Marshall. Inspeccioná-lo parecia mais assustador do que inspecionar a própria espaçonave. Estimava-se que o foguete teria cerca de 5 000 pontos de teste. Os engenheiros previram que, usando os métodos do Projeto *Mercury*, a inspeção que garantiria o lançamento seguro do *Saturno* levaria mais de um ano.

Em setembro de 1961, Ludie Richard, diretor de engenharia de sistemas no Marshall, apresentou uma nova proposta: fazer com que o computador de orientação a bordo do foguete ajudasse na inspeção final do foguete auxiliar. Porém, os computadores de orientação de foguetes descendiam dos dispositivos analógicos e por isso possuíam uma limitação inerente. A menos que seu conjunto de circuitos fosse refeito, a máquina analógica seria incapaz de executar uma tarefa diferente daquela para a qual tivesse sido construída.

Os computadores digitais, entretanto, podem ser solicitados a executar diferentes tarefas, bastando alterar seu software. Para o *Saturno*, a IBM construíra um dispositivo dotado de uma capacidade extraordinária, denominado computador digital para lançamento de veículo, isto é, *launch vehicle digital computer* (LVDC), destinado a ampliar mecanismos de orientação. O LVDC orientaria todo o vôo do foguete, desde o acionamento dos motores até o comando seguro do afastamento do terceiro estágio da *Apolo*, quando a espaçonave já estivesse na rota da Lua.

Richard pretendia incorporar o LVDC a um método de inspeção automatizado, escrevendo um software que instruiria o computador de orientação para guiar os sensores em diversos pontos de teste do foguete. Esses resultados seriam então transmitidos para um computador digital instalado na plataforma de lançamento, uma estrutura móvel sobre a qual o foguete estava montado, e que posteriormente o transportaria à base de lançamento. Um terceiro computador, manejado por engenheiros de teste na sala de controle de lançamento, receberia os dados. Richard sugeriu que para exercer essas duas últimas funções fosse utilizado o RCA 110, um computador já testado como controlador de equipamento em ambientes acidentados como usinas geradoras de eletricidade e usinas siderúrgicas.

Em 1963, os engenheiros do grupo de Richard já haviam definido a maioria dos detalhes relativos ao novo controle de lançamento e ao sistema de inspeção final do *Saturno*. O LVDC ficaria responsável pela checagem dos sistemas de orientação e controle que o foguete iria operar em vôo. O RCA 110, instalado na plataforma, controlaria e orientaria esses testes, além de checar outros sistemas do foguete, cruciais para o sucesso do vôo. O segundo computador RCA permitiria que os engenheiros de teste enviassem ordens e pedissem informações para o computador

2

instalado na plataforma de lançamento durante as últimas cinco horas de contagem regressiva, quando apenas se permitia a presença dos astronautas e de seu pequeno grupo de apoio na área próxima ao foguete. Cabos de alta velocidade, ligando o foguete ao RCA 110 na plataforma, transfeririam e receberiam os dados dos três computadores e seriam automaticamente desconectados pouco antes do lançamento. O sistema seria capaz de monitorar 150 000 sinais de teste por minuto e informar a causa e a natureza de um problema.

Richard precisou agir com diplomacia para implementar o sistema, em parte devido à resistência dos engenheiros de teste do Cabo Kennedy. Alguns deles temiam que os programadores e suas máquinas pudessem roubar-lhes o emprego. Outros suspeitavam da confiabilidade de um sistema computadorizado muito complexo. Por outro lado, o perfeito funcionamento do software dependia da colaboração entre a equipe de testes — que pouco entendia de computação — e os programadores — que mal conheciam os procedimentos de uma inspeção final.

Em 1963 deu-se um passo decisivo para pôr fim aos receios dos engenheiros do Cabo Kennedy. Uma nova linguagem de computação, denominada ATOLL (*acceptance, test or launch language*, isto é, linguagem de aceitação, teste ou lançamento), foi introduzida em Huntsville. Até então, todas as instruções para orientação e inspeção final escritas por programadores encerravam-se atrás de uma linguagem montadora difícil de aprender, uma forma rudimentar de notação, não muito diferente dos dígitos binários manipulados pelos computadores. A linguagem ATOLL compunha-se de uma variedade de símbolos taquigráficos de engenharia. Desenvolvida pelos especialistas da NASA e pelos peritos em software da IBM, permitia que os engenheiros de teste escrevessem seus próprios softwares. A nova linguagem não somente removeu as barreiras impostas pela linguagem montadora, como também forneceu uma língua comum para os engenheiros lotados nas instalações de fabricação do *Saturno*. Os testes de inspeção para os componentes dos foguetes anteriores haviam sido escritos numa babel de meia dúzia de diferentes línguas. A experiência obtida pelos engenheiros da NASA com o uso da linguagem ATOLL tornou-os cada vez mais familiarizados com os computadores. Em julho de 1965, cerca de metade dos procedimentos de inspeção final pré-lançamento já haviam sido computadorizados.

BLOCO POR BLOCO: A CONSTRUÇÃO DO COMPUTADOR DA APOLO

Por essa época, o sistema de navegação e controle que orientaria as missões Apollo à Lua deveria estar quase pronto. Não estava, entretanto, e a conclusão da tarefa era improvável.

O trabalho tivera início em 1961, antes mesmo de a IBM ser encarregada de construir o computador de bordo para o Projeto Gemini. O responsável pelo desenvolvimento do computador de outros componentes do sistema de orientação e navegação da espaçonave era o engenheiro Trageser, do Laboratório de Instrumentação do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts). A NASA incumbira o MIT dessa tarefa, em razão, sobretudo, de um programa — escrito durante os primeiros estágios de planejamento do projeto — que esboçava um sistema de orientação capaz de chegar à Lua na viagem de ida, e à Terra, na de volta.

Até então, considerava-se a tarefa do MIT o mais ambicioso empreendimento na área da tecnologia de computação aeroespacial. A Trageser e a seu grupo coubera a tarefa de criar — praticamente a partir de um rabisco — um sistema de

navegação celestial totalmente computadorizado. Nele se incluíam três elementos: uma unidade de medição inercial para perceber alterações de atitude e velocidade; um instrumento óptico para marcar a posição em relação à Terra, à Lua e às estrelas; e um computador digital para controlar o sistema. O MIT projetaria os diversos componentes, e fornecedores industriais os construiriam.

O computador era a maior dificuldade. A NASA desejava um sistema autônomo independente de qualquer auxílio da Terra, o que complicava substancialmente o projeto do mecanismo. Uma razão política ditava essa necessidade: alguns oficiais norte-americanos temiam que a União Soviética tentasse interromper as comunicações da Terra com a espaçonave ou vice-versa. Impelia-os, igualmente, uma razão prática: a Apollo voaria do lado da face escura da Lua — ao entrar em sua órbita, antes e após a alunissagem — e ficaria sem qualquer contato com a Terra durante trinta minutos de cada vez. Além disso, transmitir telemetria de uma espaçonave em órbita lunar e receber uma resposta dos computadores instalados na Terra consumiria cerca de dois segundos e meio — um intervalo interminável para os astronautas, obrigados a tomar decisões em frações de segundo.

A possibilidade de um computador independente foi amplamente discutida. James Webb, diretor da NASA, expressou abertamente sua preocupação: o MIT não seria capaz de apresentar um sistema funcional antes do final da década. Charles Stark Draper, piloto e engenheiro com mais de trinta anos de experiência em projetos de instrumentos aeroespaciais, diretor do Laboratório de Instrumentação, e entusiasta do projeto, sustentou que ele mesmo gostaria de empreender a viagem e fazer funcionar o sistema. "Informem qual o texto do requerimento que devo preencher", ele escreveu à NASA. Quanto ao prazo de entrega do sistema de orientação, Draper jurou: "Vocês o receberão quando precisarem dele".

Mas os receios de Webb tinham sólidos fundamentos. O projeto era de uma complexidade sem precedentes, e a NASA, há um ano do prazo para decidir o método de encontro em órbita lunar, não fornecera planos para o trabalho. Eldon Hall, engenheiro do MIT, lembrou-se de que o laboratório recebera apenas uma ordem: "Calculem como chegar à Lua e voltar à Terra com segurança". Decorridos alguns anos, ele comentaria que, se tivessem recebido uma série completa de especificações em 1961, ninguém teria imaginado uma solução possível.

Hall dirigia a equipe do MIT — responsável pela construção de um computador digital de orientação para o míssil Polaris da Marinha — que fora transferida praticamente sem alterações para o Projeto Apollo. O primeiro projeto — apelidado Bloco I — foi apresentado em 1962, logo após a NASA ter definido o encontro na órbita lunar, como a estratégia a ser adotada para a viagem. A decisão agravou as responsabilidades do sistema de navegação e orientação. Agora seriam necessários dois computadores: um para o módulo de comando (CM, ou *command module*) e outro para o módulo lunar (LM, ou *lunar module*). Cada um deles exigiria um software diferente.

As necessidades do LM eram as mais difíceis de atender. O pequeno veículo atarracado era inerentemente instável e não poderia ser controlado só por um piloto humano. Apenas um computador — com sua rápida capacidade de processamento — poderia calcular e desencadear o fluxo constante de ajustes rápidos necessários para manter o controle da nave e fazê-la alunissar em segurança.

Porém, a memória do Bloco I era insuficiente para o software necessário. Além disso, ele não dispunha dos circuitos especiais que lhe permitissem receber infor-

2

mações tanto do radar do LM quanto dos dispositivos de medição inercial e enviar instruções para o motor do veículo e para o sistema de controle de atitude. O projeto do Bloco I foi abandonado no Programa Apolo. A equipe de Hall voltou às pranchetas para retornar com um computador que suprisse os dois veículos — a nave de comando e a espaçonave com equipamento de pouso.

No início de 1964, o projeto Bloco II foi apresentado e recebeu aprovação geral. Ao reconstruir o computador, Hall e seus engenheiros empregaram circuitos integrados nas unidades de processamento. O desenvolvimento desses circuitos, que reuniam todas as funções de processamento em componentes únicos, dava os primeiros passos no início da década de 60. Mas o MIT convencera a NASA de que suas vantagens — condensação, rapidez e baixo consumo de energia — superavam eventuais riscos que a agência espacial associasse ao limite de superação da tecnologia dos computadores. O MIT ganhou a aposta. Em 1965, o Bloco II ficou pronto. Menor e mais leve do que seu predecessor, exigia menos energia e efetuava diversos tipos de processamento com maior rapidez.

Os engenheiros também haviam duplicado a memória do computador. Como no Bloco I, a memória era formada de dois tipos de núcleos magnéticos. Uma pequena área de memória apagável — armazenamento temporário onde se processavam os dados durante as missões — assemelhava-se àquela usada no computador Gemini, que podia armazenar 2 000 palavras de 16 bits. A memória mais ampla do computador Apolo, chamada memória de núcleo magnético, podia armazenar 36 000 palavras de 16 bits. Ela diferia da memória com núcleo apagável no modo como os finos fios de cobre se dispunham pelos minúsculos núcleos em formato de rosca. Um fio retesava-se diretamente através de um orifício armazenado na memória como "1"; desviando-se de um orifício produzia um "0". Isso criava um tipo de trama eletrônica na qual os programas Apolo eram registrados permanentemente na memória através da configuração do "tecido", imunes, portanto, a oscilações de energia ou a outras influências externas capazes de causar danos físicos aos componentes.

Em 1966, à medida que se aproximavam os vôos experimentais do Projeto Apolo, a construção do computador corria sem problemas. Mas um computador sem software não basta, e os programas para a missão lunar ainda estavam atrasados.

O SOFTWARE DA APOLO

Diante da ausência de regras estabelecidas pela NASA, o grupo de planejamento de software para o programa Apolo começou adaptando programas de orientação escritos para o míssil *Polaris* e para uma sonda não tripulada planejada na década de 50, mas nunca construída. Quando se optou pelo encontro em órbita lunar, as exigências de software aumentaram. Eram necessários diferentes programas para os módulos de comando e de aterrissagem, para os Blocos I e II, para os exercícios em órbita da Terra e para as missões lunares. No início, o MIT havia calculado que quinze a vinte engenheiros de software seriam suficientes para escrever todos os programas necessários. Em meados da década de 1960, mais de trezentos programadores estavam envolvidos nessa área do projeto. Após quase cinco anos de esforços, a maior parte do software escrito para o Bloco I ainda não havia sido inteiramente testada, e a programação para o Bloco II ultrapassava em 30% a memória disponível.

Desde o início, a NASA havia deixado o desenvolvimento do software totalmen-

te a cargo do Laboratório de Instrumentação. Em março de 1966, no entanto, Bill Tindall foi designado para supervisionar o Projeto Apolo. Tindall, que como principiante na área de computação, em 1960, fora encarregado do desenvolvimento do software para a rede de rastreamento do Projeto Mercury, vinha desde então participando do planejamento das missões Gemini no Centro de Computação em Tempo Real, da NASA, em Houston. Ele ficou surpreso com a confusão e a falta de direção no MIT. Viajando semanalmente para Boston, ele escrevia uma série de memorandos que criticavam os problemas do MIT com a programação do software. Os implacáveis "Tindallgramas" — como se tornaram conhecidos os ásperos comunicados de Tindall — afirmavam que àquela altura os esforços para o desenvolvimento do software haviam-se tornado o item crucial do Projeto Apolo. O MIT recebeu Tindall como um intruso, cuja presença desencorajava os envolvidos na pesquisa.

No dia 13 de maio — dia que o grupo do MIT lembraria como a Sexta-Feira Negra — Tindall presidiu uma tumultuada reunião onde foram elaboradas novas especificações para o software e revisada toda a filosofia das missões Apolo: "Naquele dia estabeleceu-se que a total autonomia simplesmente não funcionaria. Não havia suficiente capacidade de memória, e, além disso, era totalmente desnecessária", explicou Tindall. Sua experiência com o Projeto Gemini convenceram-no de que as numerosas tarefas de navegação e orientação da missão Apolo poderiam ser processadas mais facilmente na Terra, usando-se os programas Delta-V Externo. O atraso no tempo de transmissão não mais se avultava como uma barreira e até as manobras orbitais na Lua poderiam ser calculadas em Houston, e seus resultados transmitidos aos astronautas. A paranóia sobre uma possível interferência soviética na corrida espacial norte-americana há muito desaparecera.

A insistência da NASA para que a espaçonave tivesse total independência esvaneceu-se, e o MIT viu desperdiçados muitos meses de trabalho e programas inteiros de computação. Uma grande quantidade de funções de orientação e navegação foi captada pelos computadores em Houston, e a partir da Sexta-Feira Negra os dirigentes da NASA vigiaram atentamente as programações. Um recém-criado conselho de controle de software revisava todas as alterações. "O MIT não tinha permissão de modificar um único bit", declarou um oficial da NASA.

No entanto, os problemas do software da Apolo não poderiam ser corrigidos da noite para o dia, e grandes defeitos ocultavam-se nos programas principais. O mais sério foi descoberto em janeiro de 1967, menos de um mês antes do voo experimental orbital tripulado do módulo de comando. A simulação do programa de reentrada revelou uma discrepância de 138 segundos no tempo de acionamento dos retrofoguetes entre os cálculos efetuados pelo software de bordo e os cálculos do software na estação terrestre. Não havia tempo para alterar o programa: a memória com núcleo magnético já estava instalada na espaçonave. A NASA não interrompeu a missão e transmitiu ordens geradas pelos computadores do Centro de Controle da Missão, em Houston, para os astronautas, que imprimiriam manualmente os números no computador da nave, ignorando o software defeituoso.

Tragicamente, a improvisada solução nunca chegou a ser utilizada. Em 27 de janeiro de 1967, a tripulação da *Apolo 1* — Gus Grissom, Edward White e Roger Chaffee — entrou no módulo de comando para uma contagem regressiva simulada. Um incêndio irrompeu na cabina selada e invadiu ferozmente a atmosfera cheia de oxigênio. Os três astronautas morreram.

Em consequência, a NASA decidiu desconsiderar o cronograma da *Apolo* e iniciou uma reavaliação do projeto. Todos os sistemas de bordo da espaçonave, assim como todos os módulos de software, foram minuciosamente examinados. Durante os dois anos seguintes, os programas da *Apolo* fluíam dia e noite de um par de computadores IBM 360-75s, os mais rápidos da época, em simulações destinadas a detectar rigorosamente as falhas existentes. Quando recomeçaram os vôos tripulados da *Apolo* — após os três testes experimentais entre novembro de 1967 e abril de 1968 — o sistema de orientação e seus computadores haviam chegado a um ponto tal de evolução que tornaram-se desnecessárias as soluções improvisadas para os problemas do software.

VIAGEM RUMO À TRANQÜILIDADE

O computador de orientação da *Apolo* — o AGV na denominação oficial — e seu software foram oficialmente lançados no espaço em outubro de 1968 a bordo de uma espaçonave tripulada, a *Apolo 7*, que descreveu uma órbita em volta da Terra para testar o módulo de comando reformado. Dois meses mais tarde, a *Apolo 8* realizou um cruzeiro de Natal em volta da Lua, mergulhando a 100 quilômetros da superfície pontilhada de crateras daquele satélite. Em março do ano seguinte, a *Apolo 9* carregou pela primeira vez para o espaço o módulo lunar e seu computador. O LM foi manobrado em órbita terrestre. Em maio, a *Apolo 10* voou rumo à Lua com o LM acoplado à nave de comando. Na órbita da Lua, o LM desempenhou todas as manobras esperadas, com exceção de uma: a alunissagem.

O sistema de navegação, controle e orientação usado nessas primeiras missões *Apolo* assemelhava-se ligeiramente ao sistema autônomo imaginado em 1961, mas cada um dos computadores de orientação a bordo do módulo de comando e do LM dirigia um conjunto de funções de controle de processamento de dados muito mais variadas do que as anteriormente previstas. O computador do módulo de comando dirigia todas as tarefas de orientação de bordo, gerando ordens para manobras e alinhando a unidade de medida inercial, com a colaboração dos computadores instalados em Houston. O computador de bordo do módulo lunar funcionava quase como um membro extra da tripulação — um autopiloto digital que manobrava rapidamente os dados recebidos do radar e da unidade de medição inercial, combinando-os com as ordens dos astronautas para controlar a espaçonave. Como o LM não poderia voar sem o auxílio de um computador de bordo, a espaçonave com equipamento de pouso levava uma máquina de reserva — construída pela TRW — denominada sistema de orientação abortiva. Sua única função era conduzir o módulo lunar de volta ao módulo de comando caso o computador principal falhasse.

Os astronautas comunicavam-se com os computadores através de um display e um teclado denominados DSKY. Usando uma linguagem numérica simples, a tripulação poderia emitir qualquer um dos cem comandos para o computador, introduzindo pares de números — de 00 a 99 — que correspondiam a instruções como “mostrar velocidade” ou “carregar o programa”. Embora os ensaios para a missão familiarizassem os astronautas com a maioria das instruções DSKY, a tripulação invariavelmente afixava informações críticas em cartões de aviso. “Havia pequenos pedaços de papel grudados por toda parte, nas duas cabinas”, lembrou o astronauta John Young da *Apolo 10*, descrevendo o aparente caos dentro do módulo de comando e do LM durante o vôo de maio de 1969.

Dois meses mais tarde, em 16 de julho de 1969, a *Apolo 11* decolou de Cabo Kennedy, transportando os astronautas Neil Armstrong, Buzz Aldrin e Michael Collins, para a viagem que seria a concretização de séculos de sonhos e dos excepcionais esforços tecnológicos de uma década. No dia 20 de julho, o módulo lunar *Eagle* separou-se da nave de comando *Columbia*, transportando Armstrong e Aldrin rumo à etapa final da viagem. Apenas sete minutos antes do pouso na superfície da Lua, as luzes de alarme começaram a piscar no DSKY da cabina do módulo lunar *Eagle*. Quase instantaneamente, porém, os controladores baseados em Houston — bastante familiarizados com o sistema do computador — perceberam que a mesma situação ocorrera semanas antes, durante uma simulação da missão. O radar do módulo lunar para o encontro em órbita, que seria utilizado na etapa de retorno ao módulo de comando, fora ligado nessa fase devido a uma falha nos planos da missão. Ele fez tantos pedidos ao computador que o processador sofreu uma sobrecarga. As perturbadoras luzes do alarme eram sinais emitidos pelo computador indicando que estava eliminando tarefas não prioritárias à espera de processamento. Não havia perigo para os astronautas, e o Centro de Controle da Missão garantiu que Armstrong e Aldrin podiam prosseguir com a alunissagem.

No entanto, essas perturbadoras interrupções mantiveram a atenção dos astronautas concentrada somente nos displays de suas cabinas, evitando que eles examinassem minuciosamente a paisagem que se aproximava. Quando finalmente Armstrong olhou pela janela — a 600 metros de altitude e a três minutos da alunissagem — percebeu que dirigia-se para uma cratera do tamanho de um campo de futebol, pontuada de rochas e rochedos. O comandante manobrou habilmente a *Eagle* rumo a uma área segura e plana. “Aqui fala *Tranquility Base*. A *Eagle* pousou”, anunciou Armstrong. Eram 16 horas e 17 minutos do dia 20 de julho de 1969.

FINAL DA HISTÓRIA

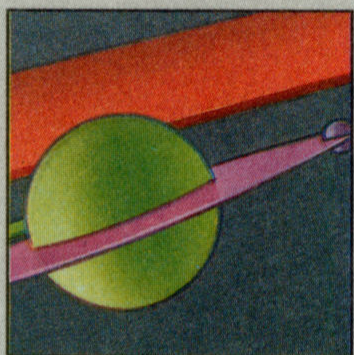
O terror gerado pelo computador foi totalmente esquecido em meio à euforia que acompanhou o sucesso da missão. Mas os peritos em computação fora da agência espacial não se esqueceram de seu significado. Em outubro de 1969, uma respeitável revista da área industrial criticou o computador de orientação da *Apolo*, demasiadamente vagaroso para executar o trabalho designado. O artigo enumerava uma série de minicomputadores comercialmente disponíveis, dez vezes mais rápidos do que o AGC, e que teriam facilmente dominado a sucessão de tarefas de processamento exigidas da máquina construída pelo MIT.

Essa observação seria a precursora da crítica que de tempos em tempos atacaria o programa espacial nos anos seguintes. Como as missões da NASA precisavam ser planejadas com anos de antecedência, seus sistemas de computação — projetados durante o estágio de planejamento — tornavam-se inevitavelmente obsoletos frente ao progresso da tecnologia. Os computadores da *Gemini* e da *Apolo* estavam bastante atrasados em relação ao estágio das pesquisas à época do lançamento final das naves.

Mas, apesar disso, ambos os computadores provaram-se totalmente seguros, ganharam a confiança dos astronautas e justificaram a política conservadora da NASA. O computador da *Apolo* manteve-se em ação durante muitos anos, acompanhando o homem à Lua durante outras cinco missões nos 41 meses após o célebre voo da *Apolo 11*. E desde aquele dia nenhum ser humano pode pensar em fazer uma viagem espacial sem levar consigo um computador.

Na rota de outros mundos

2



Quando os marinheiros de outrora se aventuravam pelos mares, os ventos, as correntes marítimas e as estrelas serviam-lhes de guia para chegar a portos distantes. A conquista dos mares foi substituída pela conquista espacial. A navegação no vácuo do espaço, entretanto, exige um rigor e uma precisão infinitamente mais complexos. Caso as massas de terra se comportassem como objetos no espaço, Marco Pólo jamais teria achado seu caminho. Os continentes e as ilhas rodopiarão movendo-se rapidamente na superfície do globo e exercerão uma força atrativa uns sobre os outros e, também, sobre a embarcação do explorador.

Os problemas que a navegação espacial envolve exigem computadores capazes de realizar, em questão de segundos, cálculos que levariam anos para serem efetuados a mão. Desse computadores exige-se que determinem a posição e o rumo da espaçonave a partir do Sol, da Terra ou das estrelas; selecionem a trajetória da nave rumo ao seu destino, com o mínimo dispêndio de combustível; e mantenham-na orientada de modo que as antenas e outros dispositivos apontem em direções específicas. Não é exagero afirmar que o desenvolvimento dos computadores tem sido tão importante para o progresso das viagens espaciais quanto o desenvolvimento dos foguetes.

As páginas que se seguem traçam uma viagem hipotética partindo da Terra rumo a uma estação espacial na órbita terrestre e daí para a Lua e Marte. A viagem levaria vários meses, e uma nave devidamente equipada pesaria centenas de toneladas — um peso excessivo para ser lançado da Terra. Para resolver esse problema, um pequeno veículo transportaria os componentes da nave — incluindo computadores — até uma estação espacial onde seriam montados em órbita. Depois de montada, a nave interplanetária estaria pronta para transportar os passageiros da Terra para Marte — com uma escala na órbita lunar a fim de ali recolher os passageiros da Lua.

Enfrentando a mecânica celeste

Os planetas (somente Mercúrio, Vênus, Terra e Marte aparecem nesta ilustração) no sistema solar giram em volta do Sol em planos orbitais ligeiramente diferentes — aqui exagerados para melhor entendimento. A órbita de Marte, por exemplo, está inclinada cerca de 1,8 grau em relação à eclíptica — o plano onde se encontra a órbita da Terra. A órbita da Lua está inclinada cerca de 5 graus em relação à eclíptica.

Visto de cima (*embaixo, à esquerda*), o movimento no sistema solar dá-se em sentido contrário ao dos ponteiros do relógio. Os planetas giram à volta do Sol da esquerda para a direita, e o Sol, assim como a maioria dos planetas, gira à esquerda sobre seu eixo. Do mesmo modo, a Lua gira à volta da Terra no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, rodando sobre seu eixo na mesma direção.

Para calcular uma trajetória rumo à Lua ou a outro planeta, os computadores devem considerar a órbita e a rotação não apenas do ponto de partida, isto é, a Terra, mas também do ponto de chegada. Descritos pelas leis da mecânica celeste, tais movimentos tomam a forma de equações complexas. A solu-

Mercúrio

Vênus

ção de tais equações — tarefa que os computadores desempenham particularmente bem — permite prever as posições futuras dos corpos celestiais de modo que a espaçonave consiga uma linha de interceptação. A precisão é fundamental: um erro pouco maior que uma fração de 1 grau ao se apontar uma nave para o espaço pode fazer com que o veículo se distancie centenas de milhares de quilômetros de seu alvo.

Certas características orbitais devem ser aplicadas, seja o destino da espaçonave um ponto remoto na órbita da Terra, seja um planeta vizinho girando à volta do Sol. A trajetória de uma órbita, por exemplo, pode ser descrita como composto parte de um plano — uma superfície bidimensional familiar à geo-

metria aprendida no curso secundário. Todos os planetas giram à volta do Sol em planos orbitais ligeiramente diferentes, passando pelo centro do Sol. Além disso, os planetas viajam em diferentes velocidades e levam tempos diferentes para completar uma única volta, dependendo de sua distância em relação ao Sol. As mesmas regras aplicam-se a objetos em órbita da Terra ou de qualquer outro planeta.

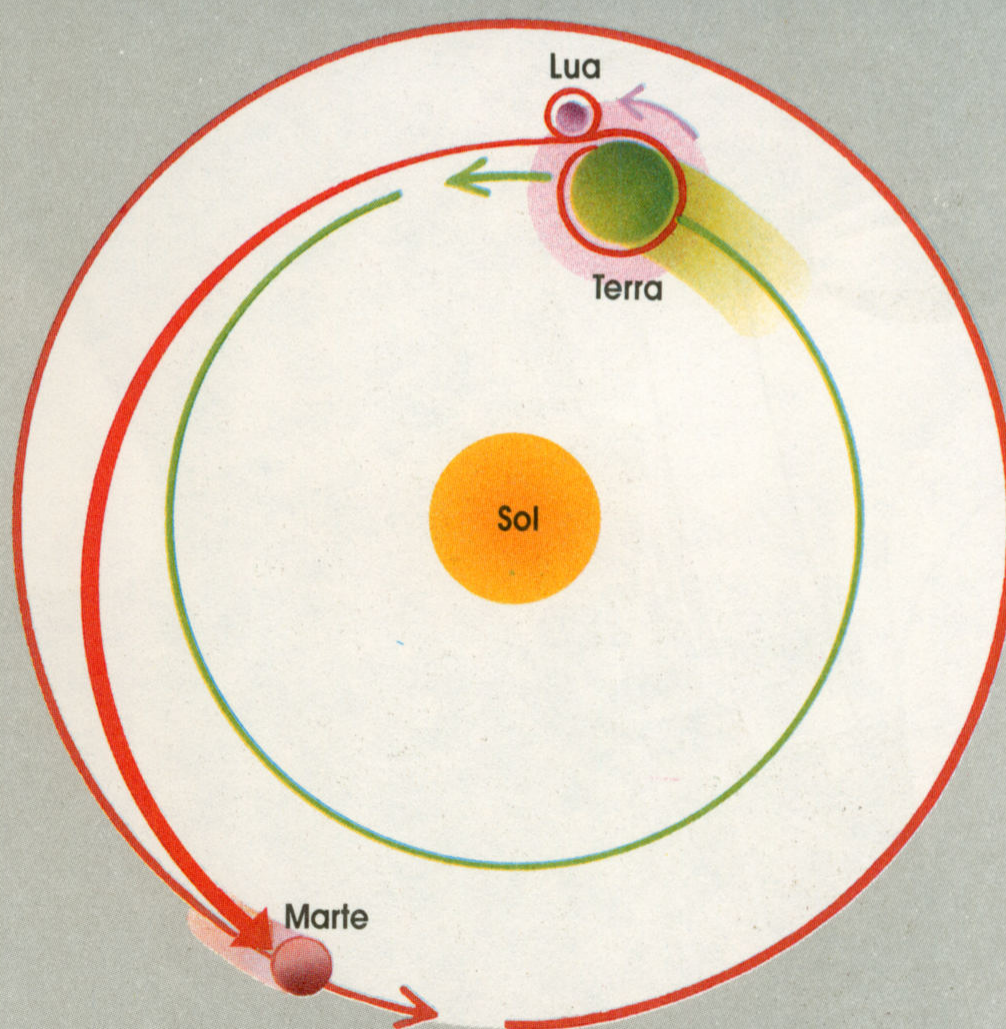
Como a Terra, a Lua e os planetas movimentam-se em planos orbitais diferentes; uma espaçonave viajando entre eles precisa mudar de um plano para outro durante sua trajetória. Além de exigir grandes quantidades de combustível, tais manobras complicam os cálculos das trajetórias das naves espaciais.



Destino: Marte

Raramente a melhor trajetória no espaço é a mais curta. Movimentar-se em linha reta entre os planetas normalmente consome grandes quantidades de combustível no esforço de superar a gravidade. Ao contrário, a espaçonave deve aproveitar os movimentos naturais dos planetas e seus satélites. O mapa à direita resume uma viagem da Terra em direção a Marte. Em primeiro lugar uma nave transportadora é lançada na órbita terrestre para um encontro com uma estação espacial. Nessa estação, procede-se à transferência da tripulação e dos passageiros para uma espaçonave de longos percursos, que faz uma breve escala em órbita lunar e recolhe, ali, passageiros com destino a Marte.

A cronometragem é um fator fundamental nessas manobras. Do mesmo modo que um atirador deve seguir um alvo em movimento e atingi-lo enquanto estiver na mira, uma espaçonave deve apontar o porto de chegada para alcançá-lo, e o veículo deve decolar em um breve espaço de tempo denominado janela de lançamento. A fim de economizar combustível durante o trecho de viagem para Marte — e devido à órbita daquele planeta em relação à Terra —, a nave interplanetária segue uma trajetória que convergirá com seu ponto de chegada na extremidade do Sol, após uma viagem de oito meses e 580 milhões de quilômetros. A janela de lançamento para esse tipo de viagem fica aberta por uma semana — e ocorre uma vez a cada dois anos.



Rumo ao espaço

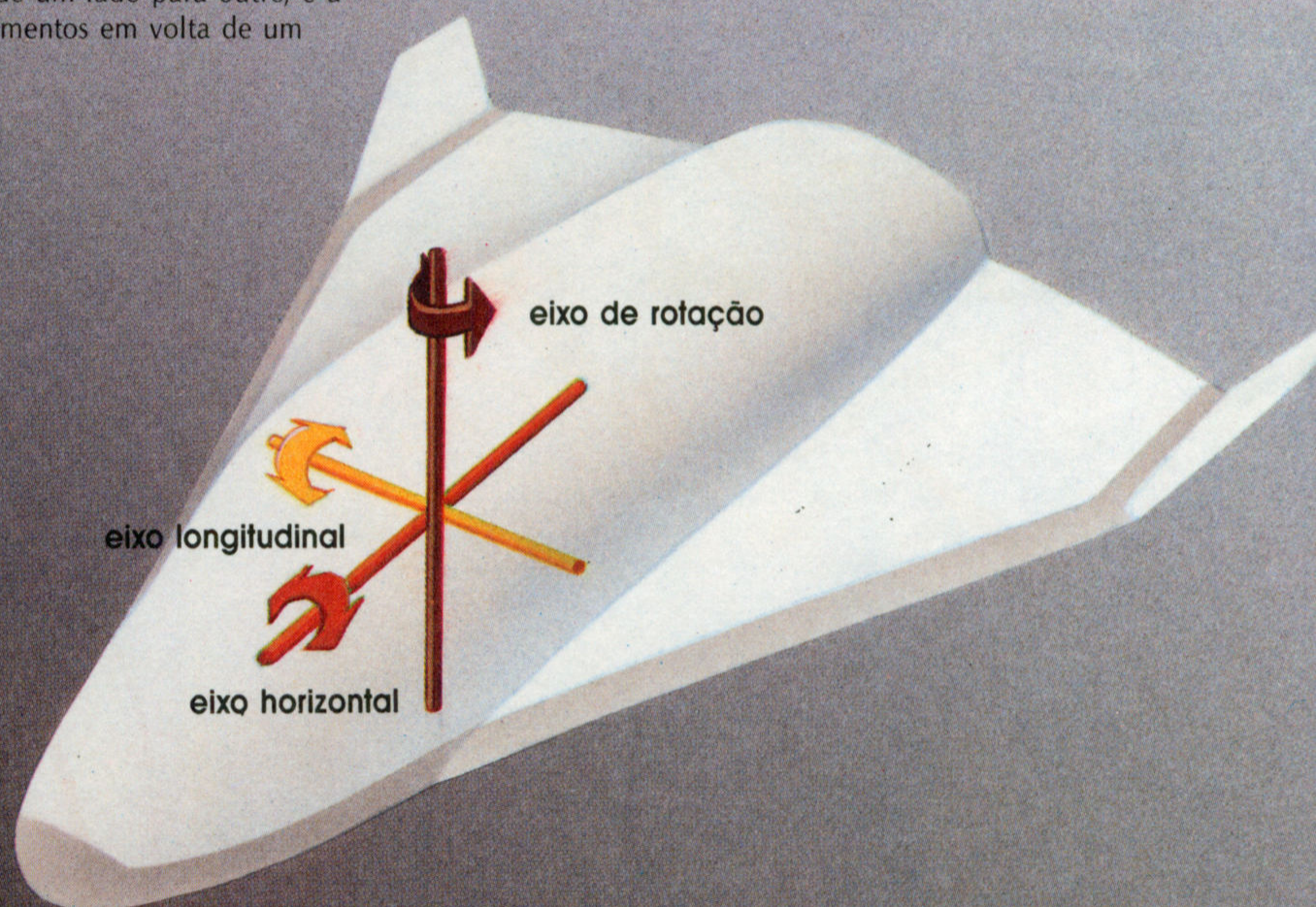
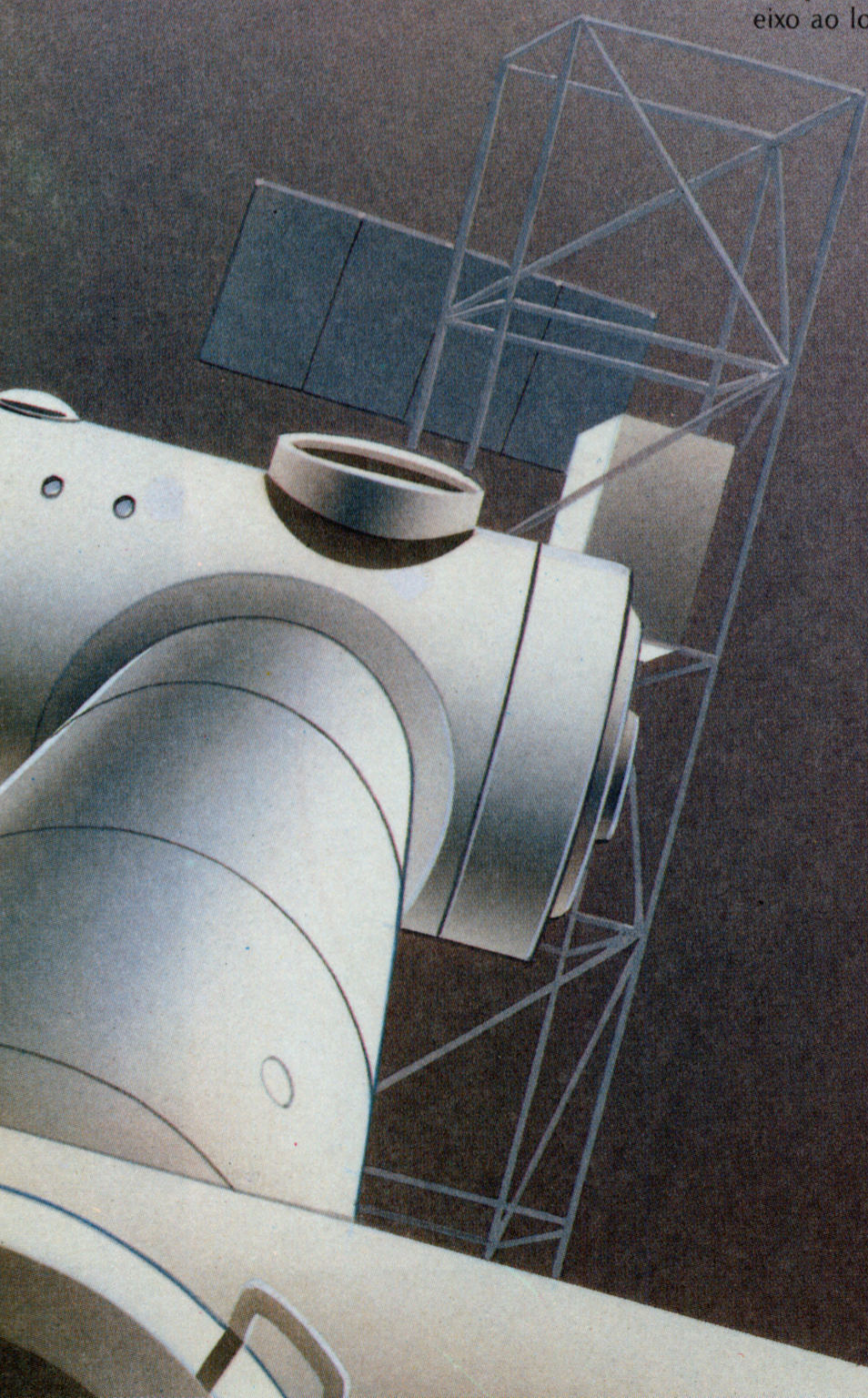
O lançamento de uma nave transportadora para uma estação espacial em órbita terrestre — a primeira escala durante a viagem imaginária rumo a Marte — exige uma grande quantidade de combustível. Por essa razão, deve ser cuidadosamente planejado, de forma a minimizar o peso do combustível, permitindo que a espaçonave transporte o máximo de carga e de passageiros. Uma das maneiras de conservar o combustível durante o lançamento é aproveitar-se da rotação da Terra sobre seu eixo. Como o planeta gira do oeste para o leste, um foguete lançado em direção leste receberá um impulso para entrar em órbita. É como saltar de um carrossel. Um pulo na mesma direção da rotação do carrossel resulta em maior velocidade do que um pulo em direção contrária. Ainda mais combustí-

vel será economizado cronometrando-se a contagem regressiva para que a nave transportadora seja lançada no mesmo plano orbital da estação espacial (*em cima, à direita*).

Depois de lançada, e durante a manobra rumo à estação espacial, a nave transportadora deve manter uma orientação — ou atitude — específica. Essa delicada tarefa é realizada com o auxílio dos computadores de bordo e de um instrumento complicado que se utiliza de giroscópios, dispositivos parecidos com um pião.

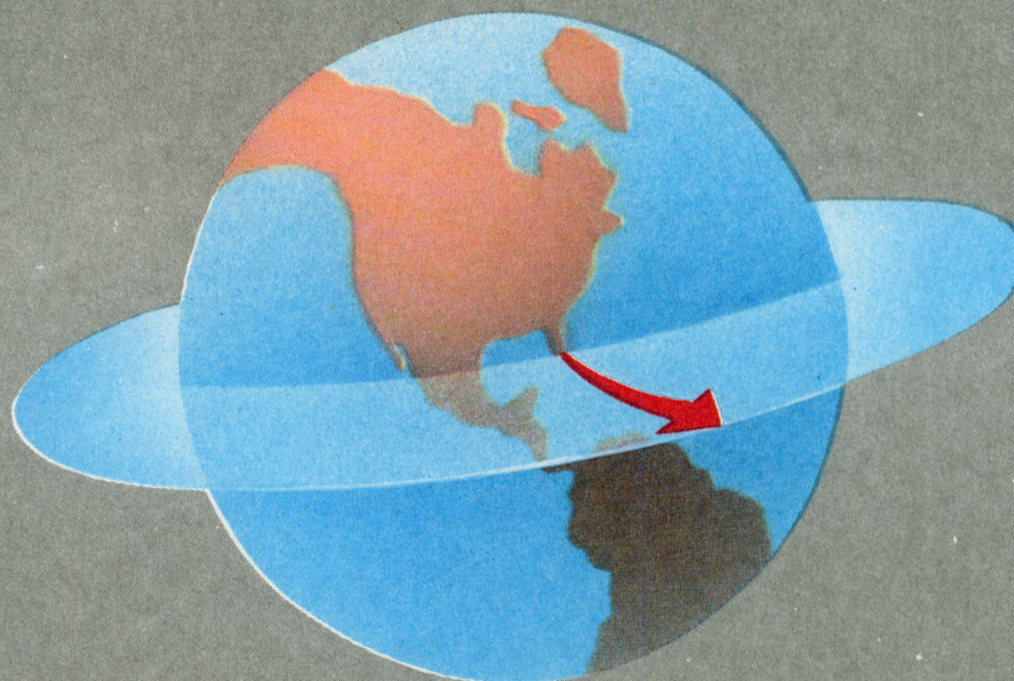
Quando um objeto é posto em rotação, há uma relutância em alterar seu eixo de rotação. Essa lei de física explica por que um pião se equilibra sobre seu ponto e por que os giroscópios agrupados em um aparelho chamado unidade de medição inercial (IMU, do inglês *inertial measurement unit*) podem fornecer a informação necessária para manter uma espaçonave devidamente alinhada no caso de um acoplamento ou de outras manobras (*embaixo, à direita*).

Uma espaçonave acoplando-se com uma estação espacial em órbita deve manter uma atitude específica — inclinação longitudinal e horizontal e rotação em torno do eixo em relação a uma referência conhecida — para que a manobra seja bem-sucedida. A inclinação longitudinal descreve um movimento da ogiva da nave em sentido ascendente e descendente; a inclinação horizontal descreve os movimentos de um lado para outro; e a rotação descreve os movimentos em volta de um eixo ao longo do veículo.

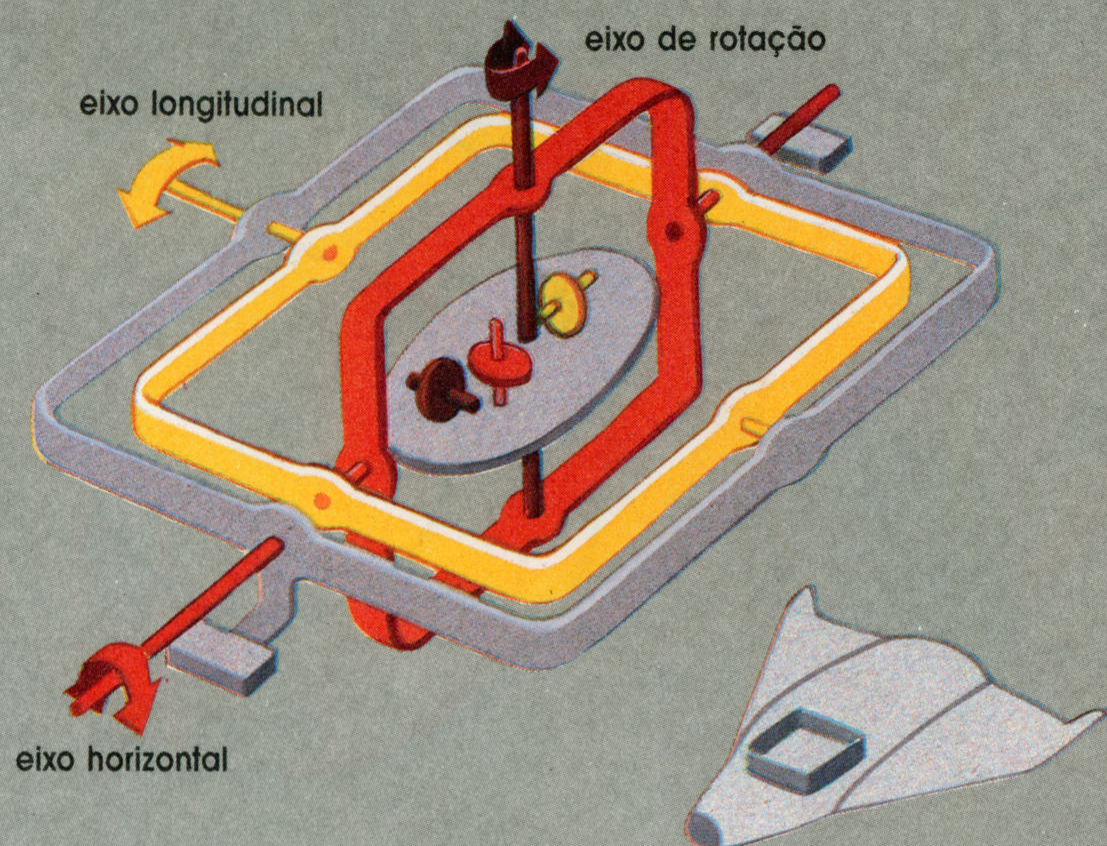


Lançamento em órbita terrestre

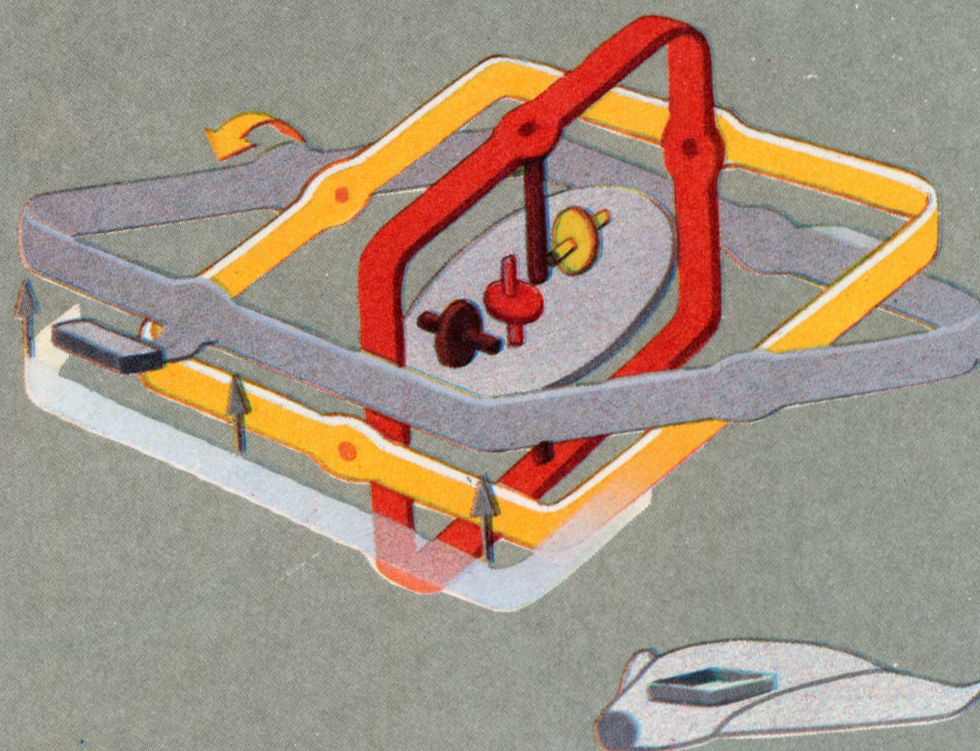
Uma espaçonave lançada do Cabo Canaveral em direção leste extrai o máximo de proveito da rotação da Terra — em direção contrária à dos ponteiros do relógio — para um encontro com a estação espacial cuja órbita é demonstrada à direita. Enquanto a estação gira em volta do globo ao longo de sua trajetória, a rotação da Terra, embaixo, conduz a plataforma de lançamento — Cabo Canaveral — para fora do plano orbital. No dia seguinte — e depois disso uma vez por dia — a plataforma de lançamento na Flórida atravessa o plano orbital da estação espacial, criando condições para o lançamento de outras naves transportadoras com grande aproveitamento de combustível. Na prática, há uma janela de lançamento de alguns minutos, durante a qual a diferença entre o plano orbital da estação espacial-alvo e o do veículo de “caça” é suficientemente pequena para ser transposta.



Mantendo uma atitude adequada



Equilíbrio. Em uma unidade de medida inercial, três giroscópios fazem parte de um sistema de apoio a uma plataforma oval que servirá como ponto de referência para as mudanças na atitude do veículo. A plataforma é montada sobre uma suspensão, que a impede de inclinar. Fixadas na espaçonave, as suspensões transmitem à plataforma as mínimas inclinações longitudinais, horizontais e movimentos de rotação da espaçonave. Esta ilustração mostra a relação da plataforma com as suspensões quando a nave está voando em linha reta e equilibrada.



Percepção da inclinação longitudinal. Caso a ogiva da nave se eleve, a suspensão fixada ao veículo acompanhará tal movimento (*em cinza*). Quando começa a se mover, a suspensão provoca a inclinação da plataforma. O giroscópio de inclinação longitudinal (*em amarelo*), que resiste à tentativa de mudar seu eixo de rotação, gera um sinal que ativa os motores elétricos para movimentar a suspensão da inclinação longitudinal, fazendo com que o giroscópio volte ao seu eixo de rotação original e mantendo a plataforma estável. Um sensor anota o movimento da suspensão e transmite a informação para um computador, que poderá enviar instruções para fazer a nave retornar à sua orientação inicial.

A requintada arte do encontro

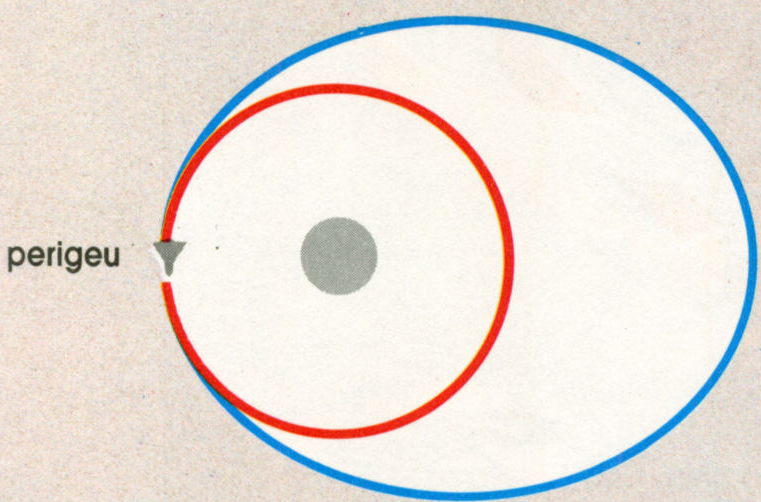
A fim de encontrar uma estação espacial em órbita terrestre, a nave transportadora poderia adotar a abordagem direta, alcançando-a com um único salto, ou aproximar-se em vários passos. Na prática, por motivos de segurança e economia, prefere-se a última abordagem.

Nesta viagem para Marte, a nave transportadora lançada do Cabo Canaveral é colocada, primeiramente, em uma órbita elíptica ou oval que, de início, não condiz com o formato da trajetória quase circular da estação espacial à volta da Terra. Além disso, a nave transportadora gira em uma altitude inferior à da estação espacial e, conseqüentemente, a uma velocidade maior. (Mesmo que um veículo deva ser acelerado ao mover-se de uma órbita inferior para outra, mais elevada, quanto mais alta a órbita, menor a velocidade necessária para o veículo nela se manter. O problema se complica ainda mais, pois, à medida que a órbita excêntrica da nave transportadora aproxima-a da Terra e depois dela se afasta, há uma variação do efeito da gravidade sobre o veículo. Somente os computadores são

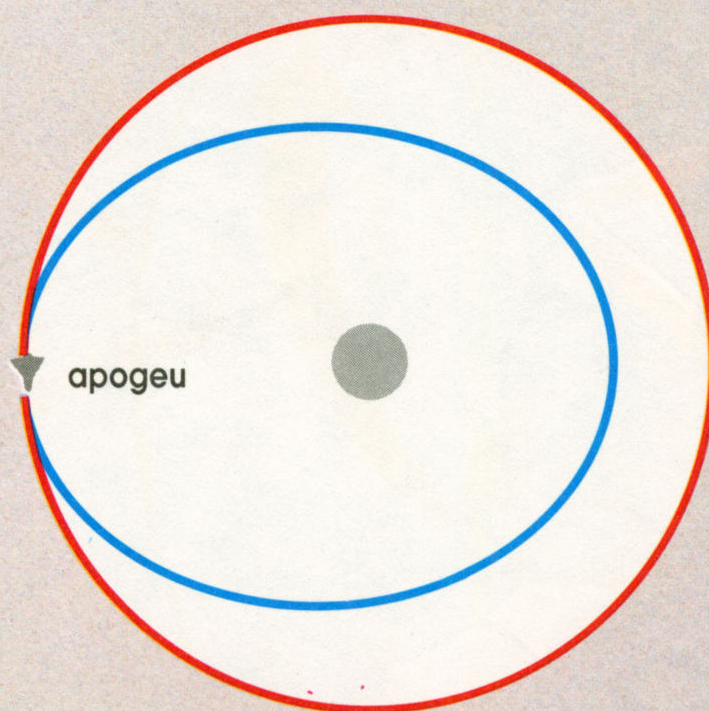
capazes de analisar a situação a tempo de coreografar a seqüência de passos necessária ao encontro.)

Por mais difícil que possa ser a matemática da mecânica orbital, o princípio de girar em órbita circular a partir de órbitas elípticas é simples. Fundamentalmente, o diâmetro de uma órbita circular em volta da Terra — ou de qualquer outro corpo celeste — depende somente da velocidade do satélite. Dessa forma, transformar uma órbita elíptica em uma órbita circular exige apenas que o satélite alcance a velocidade associada à altitude da órbita desejada.

Uma órbita elíptica oferece duas oportunidades para o maior rendimento do combustível de um satélite (no caso a nave transportadora lançada do Cabo Canaveral) a ser instalado em uma trajetória circular em volta de seu foco (Terra). A primeira ocorre no perigeu — o ponto de maior aproximação com a Terra, e onde o satélite, tendo tomado o rumo descendente em direção à Terra, estará viajando em sua velocidade máxima (*abaixo, à esquerda*). A outra oportunidade ocorre no apogeu, o ponto em que o satélite está mais afastado da órbita da Terra, e viajando em sua velocidade mínima (*abaixo, no centro*). Ao contrário, uma órbita circular pode tornar-se elíptica aumentando-se ou diminuindo-se a velocidade do veículo (*abaixo, à direita*). A aplicação contínua desses princípios conforme um programa cuidadosamente planejado torna possível não somente que a nave transportadora se encontre com a estação espacial (*à direita*), mas também que uma espaçonave chegue até à Lua e prossiga rumo a Marte.

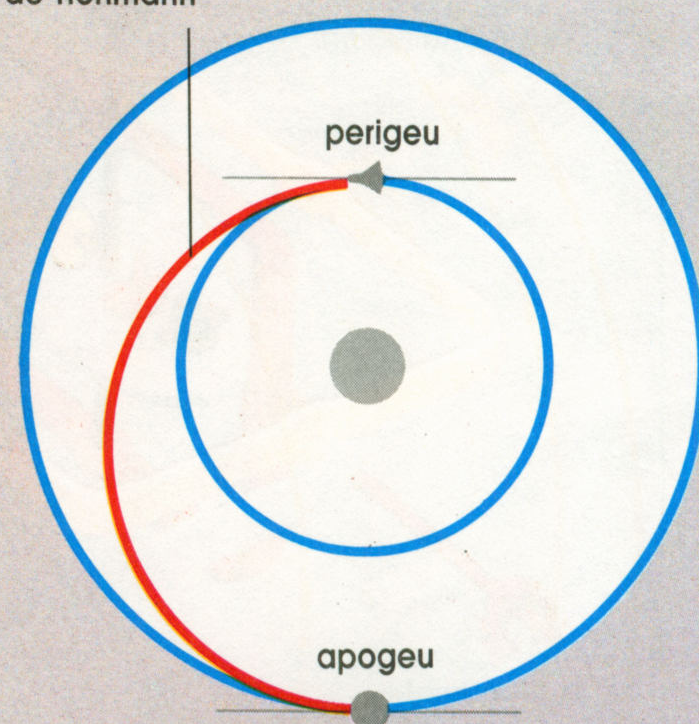


Uma trajetória circular no perigeu. Numa órbita elíptica (*em azul*), a velocidade de um satélite em seu ponto mais próximo da Terra é superior à desenvolvida em uma órbita circular, na mesma altitude. Para introduzir o veículo em uma órbita circular, os foguetes são acionados quando o satélite se aproxima do perigeu, reduzindo a velocidade máxima do veículo para a velocidade exigida na nova órbita (*em vermelho*).

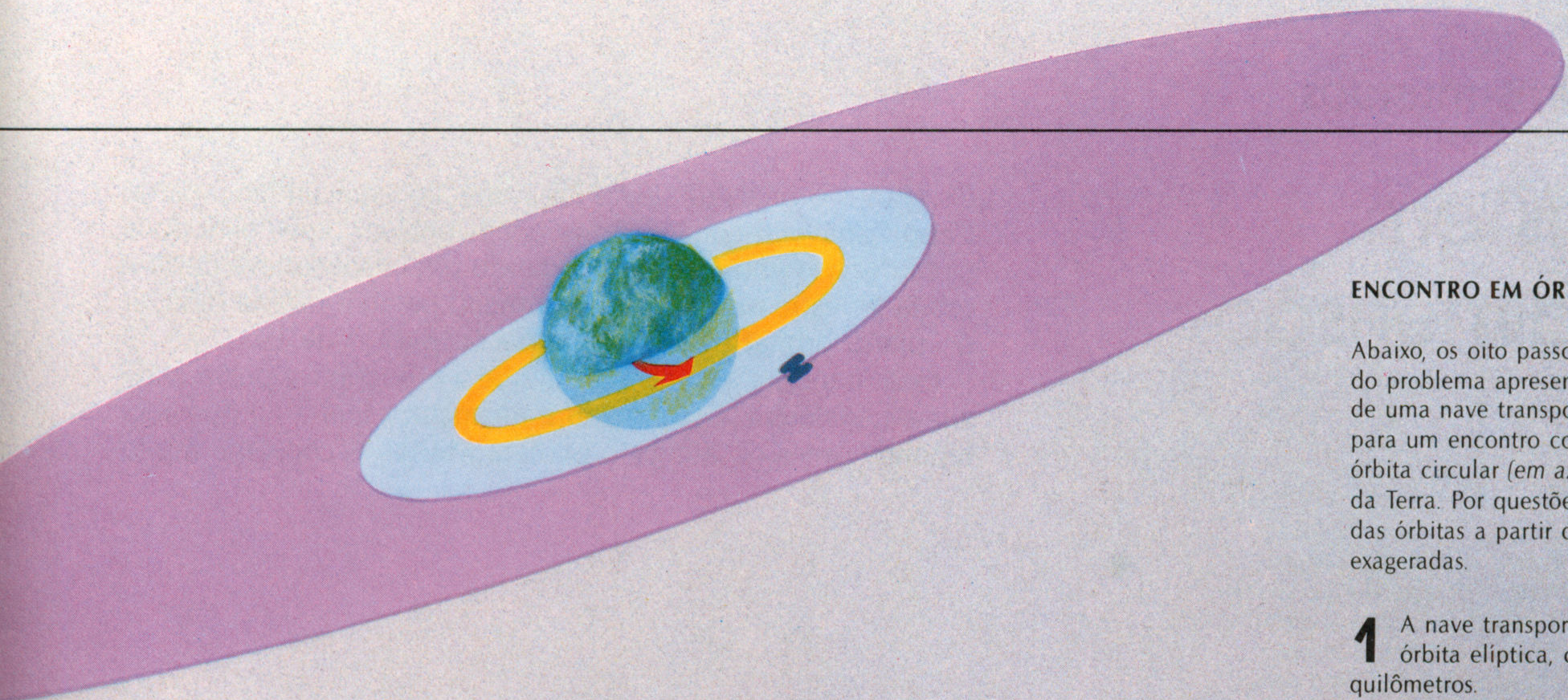


Uma trajetória circular no apogeu. Quando um satélite encontra-se em seu ponto mais distante da Terra, a velocidade por ele desenvolvida é menor do que a exigida para uma órbita circular à mesma altitude; assim, ele se volta em direção à Terra, aumentando a velocidade à medida que se aproxima do perigeu. Dessa forma, para introduzir um satélite em uma órbita circular no apogeu, os foguetes aceleram até atingir a velocidade exigida para uma órbita circular àquela altura.

elipse de Hohmann



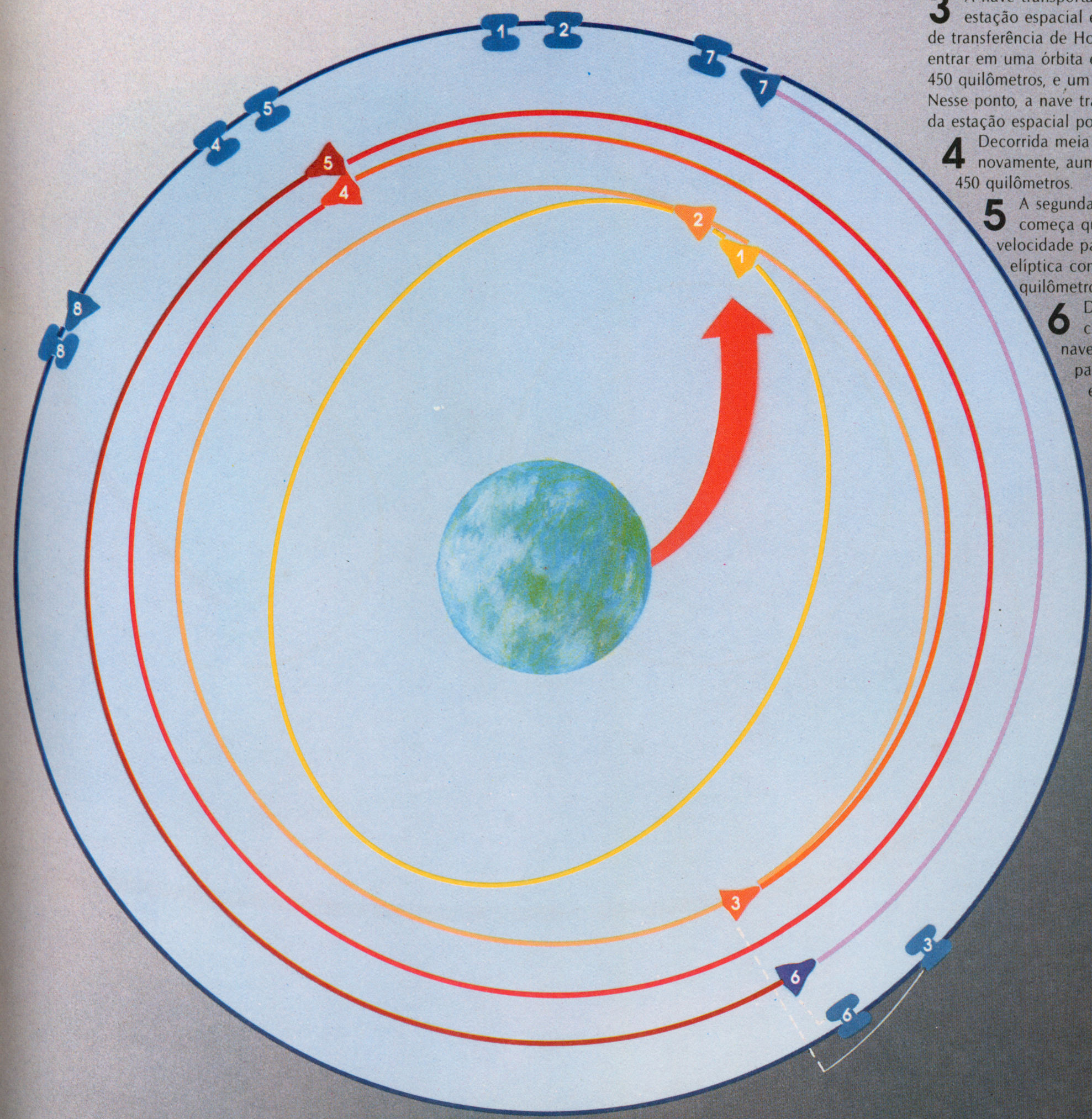
Mudança de órbitas. Em se tratando de combustível, a trajetória mais eficaz de uma órbita circular mais baixa para uma órbita superior no mesmo plano orbital é conhecida como elipse de transferência de Hohmann. Primeiramente — em uma reversão do processo demonstrado à esquerda — aumenta-se a velocidade, a fim de se criar uma órbita elíptica com o perigeu igual à altitude mais baixa e o apogeu igual à maior altitude procurada. Para entrar na órbita circular mais ampla, aumenta-se novamente a velocidade quando a nave atinge o apogeu, para compensar a velocidade perdida com a deslocação do veículo para cima, rumo à uma órbita mais elevada.



ENCONTRO EM ÓRBITA

Abaixo, os oito passos necessários para a solução do problema apresentado à esquerda: lançamento de uma nave transportadora do Cabo Canaveral para um encontro com uma estação espacial em órbita circular (em azul-escuro), a 500 quilômetros da Terra. Por questões de clareza, as distâncias das órbitas a partir da Terra estão muito exageradas.

- 1** A nave transportadora é lançada em uma órbita elíptica, com um apogeu de 400 quilômetros.
- 2** Depois de uma única órbita, o veículo acelera ao atingir o apogeu para entrar em uma órbita circular, a uma altitude de 400 quilômetros.
- 3** A nave transportadora aproxima-se da estação espacial e dá início a uma manobra de transferência de Hohmann, acelerando para entrar em uma órbita elíptica, com um apogeu de 450 quilômetros, e um perigeu de 400 quilômetros. Nesse ponto, a nave transportadora segue a trilha da estação espacial por cerca de 260 quilômetros.
- 4** Decorrida meia órbita, a nave acelera novamente, aumentando o perigeu para 450 quilômetros.
- 5** A segunda manobra Hohmann começa quando a nave aumenta a velocidade para entrar em uma órbita elíptica com um apogeu de 450 quilômetros.
- 6** Deixando passar uma órbita circular a 450 quilômetros, a nave transportadora acelera para entrar em uma órbita elíptica com apogeu de 460 quilômetros — a mesma altitude da estação espacial e apenas 1,6 quilômetro atrás da mesma.
- 7** Novamente a nave transportadora aumenta a velocidade para entrar na órbita circular da estação espacial, e então utiliza o radar para se aproximar do alvo.
- 8** Dez horas após a partida, a nave acopla-se à estação espacial.

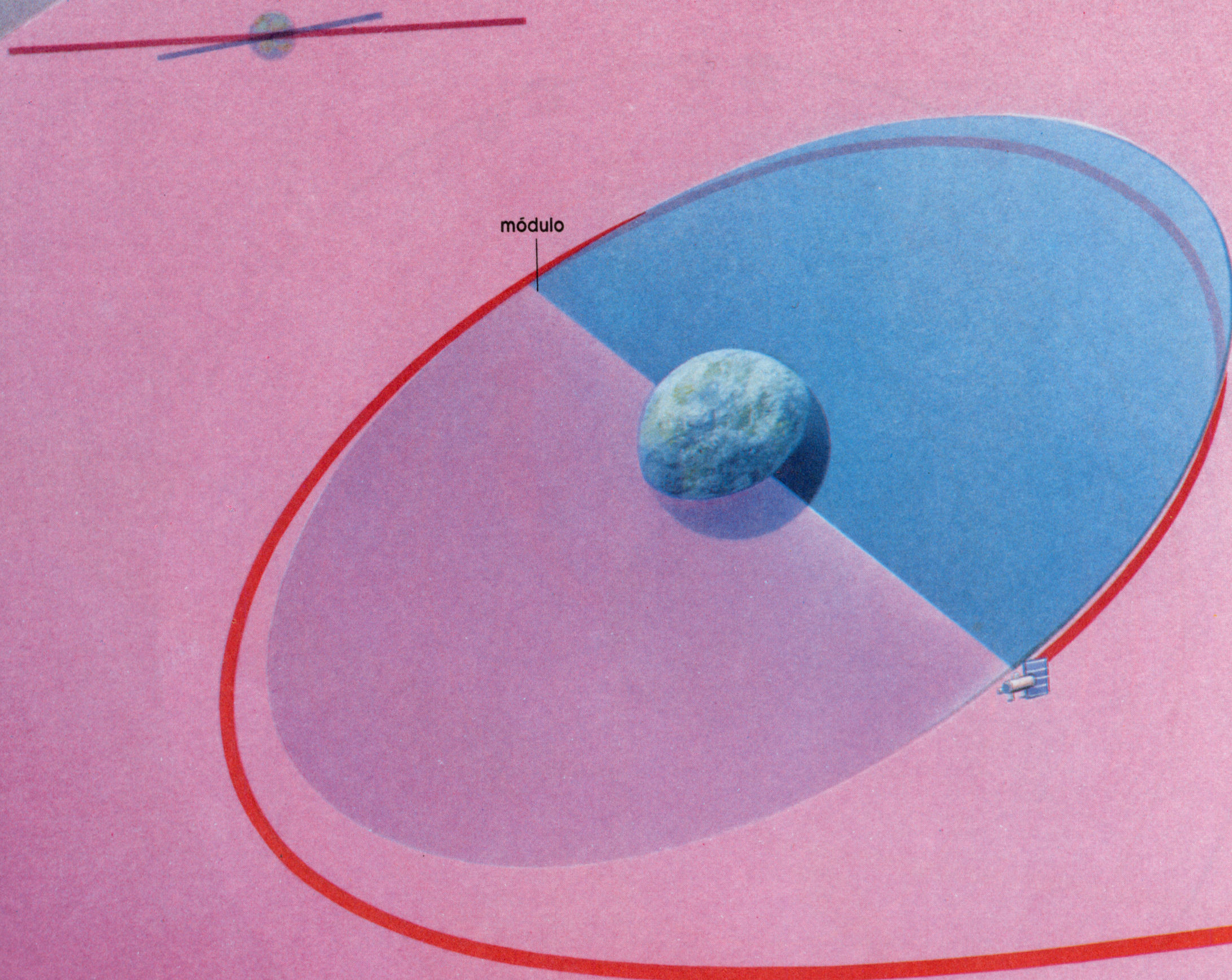


Manobras em terceira dimensão

Os planos orbitais da Lua e uma estação espacial lançada do Cabo Canaveral coincidiriam apenas por um breve período, a cada dezoito anos. Portanto, quando uma espaçonave deixa a órbita terrestre rumo à Lua, o primeiro passo é fazê-la deslizar do plano orbital da estação espacial para o da Lua.

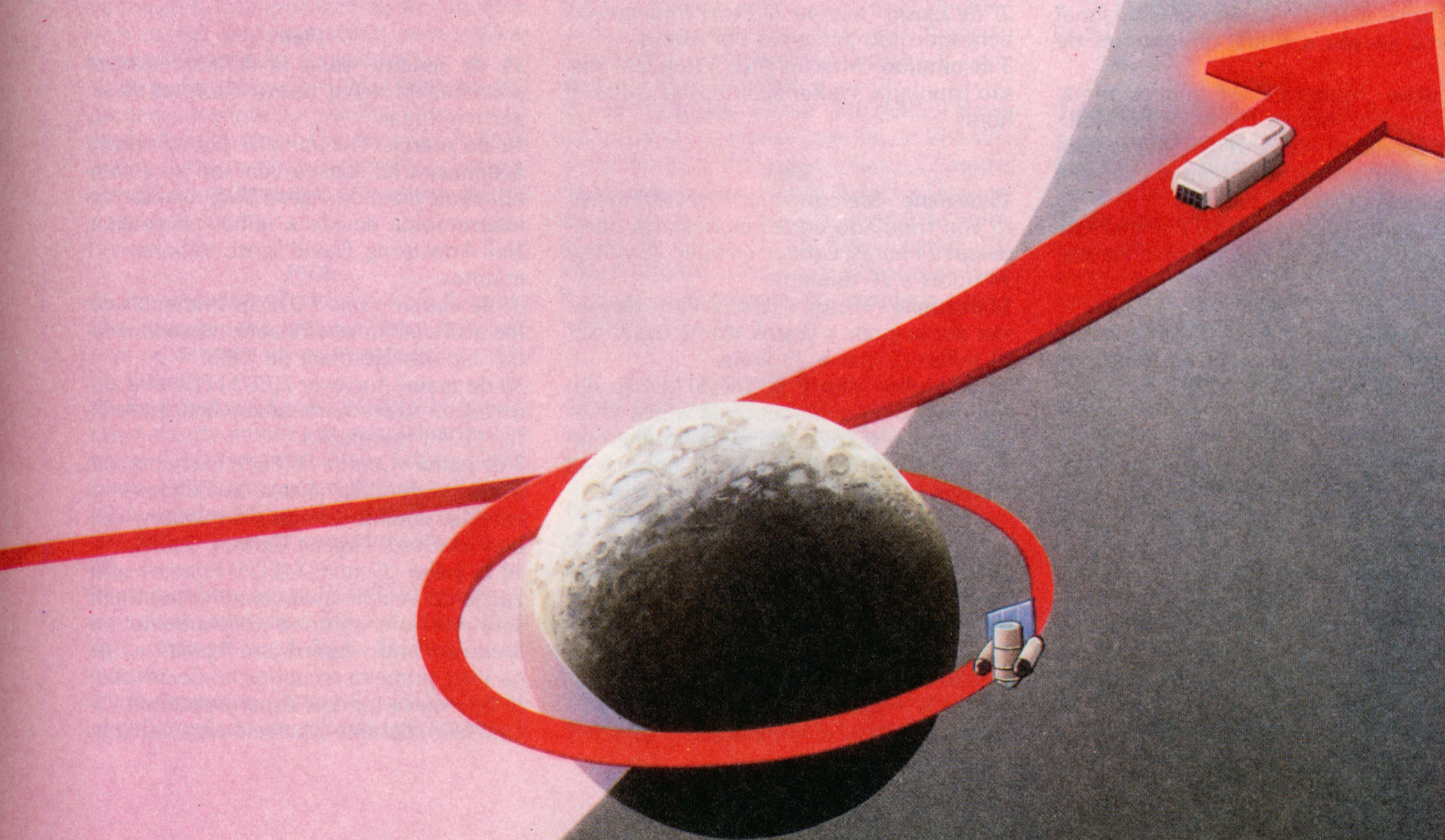
Essa manobra, essencial para que a espaçonave possa realizar a transferência Hohmann e alcançar a Lua — e que será repetida antes de atingir o planeta Marte —, consome muito

O desenho abaixo — que ilustra o ângulo entre o plano orbital da estação espacial (em azul) e o plano orbital da Lua (em violeta) — mostra como a distância entre os planos orbitais — e o combustível requerido para ligá-los — aumenta à medida que a espaçonave se move em direção ao módulo.



combustível. Entretanto, o uso de computadores para comparar trajetórias alternativas e cronometrar a aplicação de empuxo podem diminuir as exigências de combustível. As oportunidades para fazer o combustível render mais ocorrem quando há o cruzamento de dois planos. O ponto de intersecção é conhecido como nodo. Quanto mais distante de um ponto nodal uma manobra é realizada, maior é a divergência de planos e maior a quantidade de combustível necessária.

No exemplo abaixo — meia órbita após a espaçonave ter entrado no plano orbital da Lua — os empuxadores iniciam uma transferência de Hohmann, cronometrada para permitir que a nave intercepte a Lua. Em uma estação espacial na órbita lunar, os passageiros embarcam na espaçonave, que passará do plano da órbita lunar à volta do Sol para a órbita de Marte à volta do Sol. Somente então a nave poderá partir rumo a Marte.



Marcos da conquista espacial

Desde o início dos vôos espaciais em 1957, milhares de espaçonaves foram enviadas para além da atmosfera terrestre, incumbidas de realizar uma grande variedade de tarefas. Esta cronologia destaca os programas dos vôos espaciais tripulados, assim como o lançamento de sondas não tripuladas rumo ao cosmos.

1957

4 de outubro - *Sputnik I* (URSS) Primeiro satélite terrestre construído pelo homem.

3 de novembro - *Sputnik II* (URSS) Primeiro satélite a recolher dados biológicos da órbita terrestre; carregava a cadela Laika.

1958

31 de janeiro - *Explorer I* (EUA) Primeiro satélite terrestre norte-americano.

17 de março - *Vanguard* (EUA) Primeiro satélite a usar energia solar.

15 de maio - *Sputnik III* (URSS) Primeiros dados geográficos completos provenientes da órbita.

1959

2 de janeiro - *Luna I* (URSS) Primeira espaçonave a atingir velocidade de escape; entrou em órbita à volta do Sol.

3 de março - *Pioneer IV* (EUA) Primeira sonda espacial além do campo gravitacional da Terra; passou a 60000 quilômetros da Lua.

28 de maio - *Júpiter* (EUA) Primeiros primatas no espaço (Able e Baker); suborbital.

12 de setembro - *Luna II* (URSS) Primeira sonda lunar a chocar-se com a Lua; não houve transmissão de dados.

4 de outubro - *Luna III* (URSS) Primeira sonda lunar a fotografar o outro lado da Lua.

1960

19 de agosto - *Sputnik V* (URSS) Primeiro resgate de animais lançados em órbita (os cães Strelka e Belka).

1961

31 de janeiro - *Mercury-Redstone II* (EUA) Primeiro teste do Mercury-Redstone com passageiro a bordo (chimpanzé Ham); suborbital.

12 de fevereiro - *Vênus I* (URSS) Sonda lançada rumo a Vênus; passou a 100000 quilômetros do planeta.

12 de abril - *Vostok I* (URSS) Primeiro vôo espacial tripulado; Iúri Gágarin; uma volta; 1 hora e 48 minutos.

5 de maio - *Mercury-Redstone III* (EUA) Pri-

meiro vôo suborbital tripulado dos EUA; Alan Shepard; 15 minutos e 22 segundos.

21 de julho - *Mercury-Redstone IV* (EUA) Vôo suborbital tripulado; Gus Grissom; 15 minutos e 37 segundos.

6 de agosto - *Vostok II* (URSS) Vôo espacial orbital tripulado; Gherman Titov; dezesseis voltas; 25 horas.

1962

20 de fevereiro - *Mercury-Atlas VI* (EUA) Primeiro vôo orbital tripulado norte-americano; John Glenn; três voltas; 4 horas e 54 minutos.

23 de abril - *Ranger IV* (EUA) Primeira sonda lunar norte-americana a chocar-se com a Lua; falha de equipamento; nenhuma fotografia foi transmitida.

24 de maio - *Mercury-Atlas VII* (EUA) Missão tripulada; Scott Carpenter; três voltas; 4 horas e 54 minutos.

11 de agosto - *Vostok III* (URSS) Parte da primeira missão dupla soviética (com a *Vostok IV*); A. Nikolayev; 64 voltas; 3 dias e 22 horas.

12 de agosto - *Vostok IV* (URSS) Parte da primeira missão dupla soviética (com a *Vostok III*); aproximou-se a 5 quilômetros da *Vostok III* na primeira volta; P. Popovich; 48 voltas; 2 dias e 23 horas.

27 de agosto - *Mariner II* (EUA) Primeiro vôo bem-sucedido passando por Vênus.

3 de outubro - *Mercury-Atlas VIII* (EUA) Missão tripulada; Walter Schirra; seis voltas; 9 horas.

1963

15 de maio - *Mercury-Atlas IX* (EUA) Primeiro vôo tripulado norte-americano a ultrapassar 24 horas; Gordon Cooper; 22 voltas; 34 horas e 20 minutos.

14 de junho - *Vostok V* (URSS) Parte de missão dupla (com a *Vostok VI*); V. Bykovsky; 81 voltas; 5 dias e 23 horas.

16 de junho - *Vostok VI* (URSS) Missão dupla: chegou a 8 quilômetros da *Vostok V*; Valentina Tereshkova (primeira mulher no espaço); 48 órbitas; 2 dias, 22 horas e 48 minutos.

1964

28 de julho - *Ranger VII* (EUA) Primeira sonda lunar norte-americana bem-sucedida; transmitiu 4316 fotos da superfície lunar.

12 de outubro - *Voskhod I* (URSS) Primeira missão orbital com três passageiros; V. Komarov, K. Feoktistov, B. Yegorov; dezesseis voltas; 24 horas e 18 minutos.

28 de novembro - *Mariner IV* (EUA) Primeiro vôo bem-sucedido passando por Marte.

1965

18 de março - *Voskhod II* (URSS) Primeiro passeio no espaço; A. Leonov (realizou uma atividade extraveicular, ou EVA, durante dez minutos), P. Belyayev; dezessete voltas; 26 horas.

23 de março - *Gemini III* (EUA) Primeira nave norte-americana com dois tripulantes; primeiras manobras orbitais tripuladas; Gus Grissom, John Young; três voltas; 4 horas e 54 minutos.

3 de junho - *Gemini IV* (EUA) Primeiro passeio espacial norte-americano; Edward White (realizou atividade extraveicular durante 21 minutos); James McDivitt; 62 voltas; 4 dias e 1 hora.

21 de agosto - *Gemini V* (EUA) Primeiro vôo espacial prolongado; Gordon Cooper, Charles Conrad; 128 voltas; 7 dias e 22 horas.

4 de dezembro - *Gemini VII* (EUA) Primeiro encontro no espaço (com a *Gemini VI*); Frank Borman, James Lovell; 220 voltas; 13 dias, 18 horas e 35 minutos.

15 de dezembro - *Gemini VI* (EUA) Primeiro encontro no espaço (com a *Gemini VII*); Walter Schirra, Thomas Stafford; dezesseis voltas; 25 horas e 51 minutos.

1966

31 de janeiro - *Luna IX* (URSS) Primeira alunissagem suave; transmitiu fotos da superfície lunar.

16 de março - *Gemini VIII* (EUA) Primeira acoplagem no espaço com um alvo anteriormente lançado (*Agena VIII*); a missão foi interrompida devido a falhas no sistema; Neil Armstrong, David Scott; 10 horas e 41 minutos.

31 de março - *Luna X* (URSS) Primeiro satélite artificial lunar orbitante; transmitiu dados lunares até maio de 1966.

30 de maio - *Surveyor I* (EUA) Primeira alunissagem suave norte-americana; transmitiu 11240 fotografias.

3 de junho - *Gemini IX* (EUA) Encontro com o alvo pretendido, *Agena*; atividade extraveicular durante 2 horas e 8 minutos; Thomas Stafford, Eugene Cernan; 3 dias.

18 de julho - *Gemini X* (EUA) Primeira utilização do veículo-alvo como fonte propulsora após o encontro e acoplamento; primeiro encontro duplo (com *Agena X* e *Agena VIII*); primeira recuperação de um objeto no espaço (pacote experimental no veículo-alvo) durante o passeio espacial, John

Young, Michael Collins; 2 dias, 22 horas e 48 minutos.

10 de agosto - *Lunar Orbiter I* (EUA) Girou em volta da Lua e transmitiu 207 fotos da região equatorial lunar como parte de um programa de auxílio na escolha de locais de aterrissagem para missões futuras; todos os satélites artificiais orbitantes chocaram-se deliberadamente com a Lua para que seus radiotransmissores não interferissem em espaçonaves futuras.

12 de setembro - *Gemini XI* (EUA) Encontro e acoplamento durante a primeira volta; usou a propulsão da *Agena XI* para conseguir atingir a altitude recorde de 1 400 quilômetros; Charles Conrad, Richard Gordon; 2 dias e 23 horas.

11 de novembro - *Gemini XII* (EUA) Última missão *Gemini*; três atividades extraveiculares, totalizando 5 horas e 30 minutos; James Lovell, Buzz Aldrin; 3 dias e 22 horas.

1967

27 de janeiro - *Apolo I* (EUA) Um incêndio dentro da espaçonave durante os testes experimentais causou a morte de três astronautas; Gus Grissom, Edward White, Roger Chaffee.

23 de abril - *Soyuz I* (URSS) Primeiro teste experimental tripulado da nova espaçonave *Soyuz*; V. Komarov morreu ao chocar-se com o solo, devido a falhas com o pára-quedas do módulo de reentrada.

12 de junho - *Vênus IV* (URSS) Primeira sonda bem-sucedida no planeta Vênus.

1º de agosto - *Lunar Orbiter V* (EUA) Fotografou cinco locais para possível alunissagem da *Apolo*; terminou o programa de mapeamento lunar.

1968

15 de setembro - *Zond V* (URSS) Primeiro vôo circunlunar a voltar à Terra; transportava organismos vivos; resgatado no oceano Índico.

11 de outubro - *Apolo VII* (EUA) Primeira missão norte-americana com três tripulantes em órbita terrestre; Wally Schirra, Donn Eisele, Walt Cunningham; 10 dias e 20 horas.

25 de outubro - *Soyuz II* (URSS) Satélite não tripulado; alvo para encontro com a *Soyuz III*.

26 de outubro - *Soyuz III* (URSS) Satélite tripulado; manobrado a 200 metros da *Soyuz II*; G. Beregovoi; 3 dias, 22 horas e 54 minutos.

21 de dezembro - *Apolo VIII* (EUA) Primeiro giro tripulado em volta da Lua; Frank Bor-

man, James Lovell, William Anders; dez órbitas lunares; 6 dias e 3 horas no espaço.

1969

14 de janeiro - *Soyuz IV* (URSS) Primeiro acoplamento (com a *Soyuz V*) de duas espaçonaves soviéticas tripuladas; V. Shatalov; 2 dias e 23 horas.

15 de janeiro - *Soyuz V* (URSS) Acoplada com a *Soyuz IV*; B. Volyanov, A. Yeliseyev, Y. Khronov; 3 dias.

3 de março - *Apolo IX* (EUA) Primeiro teste de módulo lunar em órbita terrestre; James McDivitt, David Scott, Russell Schweickart; 10 dias e 1 hora.

18 de maio - *Apolo X* (EUA) Primeiro teste de módulo lunar em órbita lunar; Thomas Stafford, Eugene Cernan, John Young; 31 órbitas lunares; 8 dias no espaço.

16 de julho - *Apolo XI* (EUA) Primeira alunissagem tripulada; primeiros homens a caminhar na superfície lunar; Neil Armstrong, Buzz Aldrin, Michael Collins; 22 horas na Lua com 2 horas e 35 minutos de atividade extraveicular.

11 de outubro - *Soyuz VI* (URSS) Primeiro lançamento triplo (com a *Soyuz VII* e *VIII*) de uma nave tripulada; vôo sem objetivo de acoplamento; G. Shonin, N. Kubasov; 4 dias e 22 horas.

12 de outubro - *Soyuz VII* (URSS) Veículo-alvo para um encontro grupal (com *Soyuz VI* e *VIII*); A. Filipchenko, V. Volkov, V. Gorbalko; 4 dias e 22 horas.

13 de outubro - *Soyuz VIII* (URSS) Nave principal em manobra com *Soyuz VI* e *VII*; V. Shatalov, A. Yeliseyev; 4 dias e 22 horas.

14 de novembro - *Apolo XII* (EUA) Segunda alunissagem tripulada; trouxe de volta peças da *Surveyor III*; Pete Conrad, Richard Gordon, Alan Bean; 32 horas na Lua; 7 horas e 45 minutos de atividade extraveicular.

1970

11 de abril - *Apolo XIII* (EUA) Terceira tentativa de alunissagem tripulada, interrompida devido a uma explosão no tanque de oxigênio do módulo de serviço; a tripulação retornou a salvo; James Lovell, Fred Haise, Jack Swigert; 5 dias e 22 horas.

2 de junho - *Soyuz IX* (URSS) Estabeleceu novo recorde para vôos espaciais tripulados; V. Sevastianov, A. Nikolayev; 17 dias e 16 horas.

17 de agosto - *Vênus VII* (URSS) Sonda na atmosfera de Vênus; primeiro pouso bem-sucedido na superfície do planeta.

1971

31 de janeiro - *Apolo XIV* (EUA) Terceira alunissagem tripulada; recolheu 43 kg de amostras lunares; Alan Shepard, Stuart Roosa, Edgar Mitchell; 34 horas na Lua com 9 horas e 24 minutos de atividade extraveicular.

19 de abril - *Salyut I* (URSS) Protótipo não tripulado para uma estação e laboratório espacial; desintegrou-se em 11 de outubro de 1971.

23 de abril - *Soyuz X* (URSS) Primeira tripulação a se acoplar com o *Salyut I* em órbita (5 horas e 30 minutos); V. Shatalov, A. Yeliseyev, N. Rukavishnikov.

30 de maio - *Mariner IX* (EUA) Primeiro satélite bem-sucedido na órbita de Marte; transmitiu 7 000 fotografias da superfície do planeta e de suas luas.

6 de junho - *Soyuz XI* (URSS) Primeira tripulação a ocupar a estação espacial *Salyut* (22 dias); devido a uma depressurização acidental, os astronautas morreram durante a reentrada; G. Dobrovolsky, V. Volkov, V. Patsayev.

26 de julho - *Apolo XV* (EUA) Quarta alunissagem tripulada; o Lunar Roving Vehicle, ou Veículo de Operação Lunar, foi usado pela primeira vez; David Scott, Alfred Worden, Jamer Irwin; 67 horas na Lua com 18 horas e 35 minutos de atividade extraveicular (EVA).

1972

2 de março - *Pioneer X* (EUA) Primeiro vôo bem-sucedido passando por Júpiter (dezembro de 1973); primeira sonda a sair do sistema solar (junho de 1983).

16 de abril - *Apolo XVI* (EUA) Quinta alunissagem tripulada; recolheu 95 kg de amostras lunares; Charles Duke, Ken Mattingly, John Young; 71 horas na Lua, com 20 horas e 15 minutos de atividade extraveicular (EVA).

7 de dezembro - *Apolo XVII* (EUA) Sexta e última alunissagem tripulada do projeto *Apolo*; recolheu 110 kg de amostras lunares; Eugene Cernan, Ronald Evans, Harrison Schmitt; recorde de 76 horas na Lua; 23 horas e 12 minutos de atividade extraveicular (EVA) no total.

1973

5 de abril - *Pioneer XI* (EUA) Sonda enviada para Júpiter; primeiro vôo bem-sucedido passando por Saturno (setembro de 1979).

14 de maio - *Skylab* (EUA) Primeira estação espacial norte-americana não tripulada; lan-

çada em órbita terrestre, mas danificada durante o lançamento.

25 de maio - *Skylab I* (EUA) Primeira tripulação a ocupar o *Skylab* (28 dias); recolocou a capa de proteção térmica e consertou a asa solar termal; Pete Conrad, Joseph Kerwin, Paul Weitz.

28 de julho - *Skylab II* (EUA) Segunda tripulação a ocupar o *Skylab* (59 dias); Alan Bean, Jack Lousma, Owen Barriott.

27 de setembro - *Soyuz XII* (URSS) Teste de uma espaçonave modificada (baterias químicas substituem painéis solares extensíveis) para missões com naves transportadoras rumo aos laboratórios *Salyut* em órbita; V. Lazarev, O. Makarov.

3 de novembro - *Mariner X* (EUA) Primeira nave a usar a gravidade de um planeta (Vênus) a fim de atingir um outro (Mercúrio); primeiras imagens de televisão do planeta Mercúrio.

16 de novembro - *Skylab III* (EUA) Terceira e última tripulação do *Skylab*; a mais longa missão (84 dias); Gerald Carr, Edward Gibson, William Pogue.

18 de dezembro - *Soyuz XIII* (URSS) Espaçonave tripulada; experiências astrofísicas, biológicas e testes com recursos do planeta Terra; P. Klimuk, V. Lebedev; 7 dias, 20 horas e 55 minutos.

1974

24 de junho - *Salyut III* (URSS) Estação espacial não tripulada; em órbita 214 dias.

3 de julho - *Soyuz XIV* (URSS) Estação espacial tripulada; encontro em órbita e acoplamento com a *Salyut III* (14,5 dias); P. Popovich, Y. Artyukhin.

26 de agosto - *Soyuz XV* (URSS) Espaçonave tripulada; falhou no acoplamento com a *Salyut III*; G. Sarafanov, L. Demir.

2 de dezembro - *Soyuz XVI* (URSS) Espaçonave tripulada; testado novo modelo para o projeto experimental *Apolo-Soyuz* dos EUA e URSS; A. Filipchenko, N. Rukavishnikov.

26 de dezembro - *Salyut IV* (URSS) Estação espacial não tripulada; em órbita por 770 dias.

1975

11 de janeiro - *Soyuz XVII* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento seguido de transferência da tripulação para a nave *Salyut IV*; A. Gubarev, G. Grechko.

24 de maio - *Soyuz XVIII* (URSS) Segunda tripulação a ocupar a *Salyut IV* (63 dias); P. Klimuk, V. Sevastyanov.

8 de junho - *Vênus IX* (URSS) Sonda enviada para Vênus; pouso suave e transmissão das primeiras imagens de televisão da superfície do planeta.

15 de julho - *Apolo-Soyuz* (EUA-URSS) Primeiro voo internacional cooperativo; acoplado na órbita terrestre por dois dias; T. Stafford, V. Brand, D. Slayton (EUA); A. Leonov, V. Kubasov (URSS).

20 de agosto - *Viking I* (EUA) Nave em órbita de Marte; primeiro pouso bem-sucedido em Marte; transmitiu fotografias e dados.

9 de setembro - *Viking II* (EUA) Nave em órbita de Marte; pouso; transmitiu fotografias e dados.

17 de novembro - *Soyuz XX* (URSS) Espaçonave não tripulada; acoplamento controlado da Terra com a *Salyut IV*, em treinamento para reabastecer a estação espacial.

1976

22 de junho - *Salyut V* (URSS) Estação espacial não tripulada; 412 dias em órbita.

6 de julho - *Soyuz XXI* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a *Salyut V*; a tripulação realizou várias experiências; B. Volynov, V. Zholobov, 49 dias e 6 horas.

15 de setembro - *Soyuz XXII* (URSS) Espaçonave tripulada, transportando câmeras multiespectrais; V. Bykovsky, V. Aksyonov; 7 dias, 21 horas e 54 minutos.

14 de outubro - *Soyuz XXIII* (URSS) Espaçonave tripulada; falhou no acoplamento com a *Salyut V*; V. Zudov, V. Rozhdestvensky.

1977

7 de fevereiro - *Soyuz XXIV* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a *Salyut V*; testou e consertou peças da estação espacial; V. Gorbatko, Y. Glazkov; 17 dias e 16 horas.

20 de agosto - *Voyager II* (EUA) Sonda transitando por Júpiter, Saturno, Urano, Netuno; transmitiu fotografias e dados durante doze anos.

5 de setembro - *Voyager I* (EUA) Sonda transitando por Júpiter e Saturno; transmitiu fotografias e dados sobre Júpiter e cinco de suas luas, e sobre Saturno e quatro de suas luas.

29 de setembro - *Salyut VI* (URSS) Estação espacial não tripulada; enviada para órbita da Terra.

9 de outubro - *Soyuz XXV* (URSS) Espaçonave tripulada; falhou no acoplamento com a *Salyut VI*; V. Kovalenok, V. Ryumin.

10 de dezembro - *Soyuz XXVI* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a

Salyut VI; 1 hora e 28 minutos de atividade extraveicular (EVA); Y. Romanenko, G. Grechko; 96 dias e 10 horas.

1978

10 de janeiro - *Soyuz XXVII* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a *Salyut VI*; conseguiu realizar a primeira reunião de três espaçonaves (com a *Soyuz XXVI*); V. Dzhanibekov, O. Makarov; 6 dias.

20 de janeiro - *Progress I* (URSS) Nave de transporte não tripulada para reabastecer a *Salyut VI* com propelentes, alimentos e outras cargas; no dia 7 de fevereiro estava programada para reentrar na atmosfera terrestre, mas incendiou-se.

2 de março - *Soyuz XXVIII* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a *Salyut VI*; primeira tripulação internacional a ocupar a *Salyut VI*; A. Gubarev, V. Remek (Checoslováquia); 7 dias e 20 horas.

15 de junho - *Soyuz XXIX* (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a *Salyut VI*; realizou 2 horas de atividade extraveicular (EVA) para substituir equipamento e recuperar um volume exposto no espaço por dez meses; V. Kovalenok, A. Ivanchenkov; 139 dias.

27 de junho - *Soyuz XXX* (URSS) Nave tripulada; tripulação internacional; acoplamento com a *Soyuz VI*; realizou experiências biomédicas; P. Klimuk, M. Hermaszewski (Polônia); 7 dias e 22 horas.

8 de agosto - *Pioneer-Vênus II* (EUA) Cinco sondas de entrada medem a atmosfera de Vênus antes do pouso; transmitiram dados sobre a superfície do planeta.

26 de agosto - *Soyuz XXXI* (URSS) Nave tripulada; tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VI*; V. Bykovsky, S. Jaehn (Alemanha Oriental); 7 dias e 20 horas.

1979

25 de fevereiro - *Soyuz XXXII* (URSS) Sétima tripulação a ocupar a *Salyut VI*; utilização de radiotelescópio; V. Lyakhov, V. Ryumin; 175 dias.

10 de abril - *Soyuz XXXIII* (URSS) Nave tripulada; falhou no acoplamento com a *Salyut VI*; N. Rukavishnikov, G. Ivanov.

6 de junho - *Soyuz XXXIV* (URSS) Nave não tripulada; acoplamento com a *Salyut VI* e *Soyuz XXXII*, controlado por estação com base na Terra; retornou em 19 de agosto com a tripulação da *Soyuz XXXII*.

16 de dezembro - *Soyuz T-1* (URSS) Nave não tripulada do novo projeto *Soyuz*; aco-

plamento com a *Salyut V*, controlado por estação terrestre.

1980

9 de abril - Soyuz XXXV (URSS) Nave tripulada; oitava tripulação a ocupar a *Salyut VI*; L. Popov, V. Ryumin; 184 dias e 20 horas.

26 de maio - Soyuz XXXVI (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VI*; V. Kubasov, B. Farkas (Hungria); 7 dias e 20 horas.

5 de junho - Soyuz T-2 (URSS) Primeiro voo tripulado da série Soyuz T; acoplamento com a *Salyut VI*; Y. Malyshev, V. Aksyonov; 3 dias e 22 horas.

23 de julho - Soyuz XXXVII (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VI*; V. Gorbalko, P. Tuan (Vietnã); 7 dias e 20 horas.

18 de setembro - Soyuz XXXVIII (URSS) Nave com tripulação internacional; transportou combustível e suprimentos para a *Salyut VI*, e trouxe de volta à Terra a tripulação da Soyuz XXXV; Y. Romanenko, A. Mendez (Cuba); 7 dias e 20 horas.

27 de novembro - Soyuz T-3 (URSS) Nave tripulada; L. Kizim, G. Strekalov, O. Makarov; 15 dias.

1981

12 de março - Soyuz T-4 (URSS) Nave tripulada; acoplamento com a *Salyut VI*; realizou reparos na estação espacial; V. Kovalenok, V. Savinykh; 76 dias.

22 de março - Soyuz XXXIX (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VI*; primeira transmissão de imagens holográficas via TV provenientes do espaço; V. Dzhanibekov, J. Gurragcha (Mongólia); 9 dias.

12 de abril - STS-1 (EUA) Primeiro teste de voo orbital do ônibus espacial *Columbia*; testou as portas do compartimento de carga; John Young, Robert Crippen; 2 dias e 6 horas.

14 de maio - Soyuz XL (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VI*; estudou os efeitos do espaço sobre os materiais de construção; L. Popov, D. Prunariu (Romênia); 9 dias.

12 de novembro - STS-2 (EUA) Segundo voo experimental orbital da nave *Columbia*; primeiro teste em voo do braço manipulador; Joseph Engle, Richard Truly; 2 dias e 6 horas.

1982

22 de março - STS-3 (EUA) Terceiro voo experimental orbital do ônibus espacial *Columbia*; primeira manipulação de material no compartimento de carga; Jack Lousma, Gordon Fullerton; 8 dias e 4 horas.

19 de abril - *Salyut VII* (URSS) Estação espacial não tripulada; teste de sistemas e equipamento para futura ocupação humana.

13 de maio - Soyuz T-5 (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VII*; A. Berezovoy, V. Lebedev; 211 dias e 9 horas.

24 de junho - Soyuz T-6 (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VII*; V. Dzhanibekov, A. Ivanchenkov, J. Chretien (França); 7 dias e 21 horas.

27 de junho - STS-4 (EUA) Quarto voo experimental orbital do ônibus espacial *Columbia*; primeiras experiências comerciais; Ken Mattingly, Henry Hartsfield; 7 dias e 1 hora.

19 de agosto - Soyuz T-7 (URSS) Nave tripulada, primeira tripulação mista (dois homens, uma mulher); acoplamento com a *Salyut VII*; L. Popov, A. Serebov, S. Savitskaya; 7 dias, 21 horas e 52 minutos.

11 de novembro - STS-5 (EUA) Quinto voo do ônibus espacial *Columbia*; primeiro voo operacional tripulado da nave; lançou dois satélites comerciais; Vance Brand, Robert Overmyer, William Lenoir, Joseph Allen; 5 dias e 2 horas.

1983

4 de abril - STS-6 (EUA) Primeiro voo do ônibus espacial *Challenger*; segundo veículo espacial para viagens de ida e volta ao espaço da frota norte-americana; alocou satélites de rastreamento e de retransmissão de dados; Paul Weitz, Karol Bobko, F. Story Musgrave, Donald Peterson; 5 dias e 24 minutos.

20 de abril - Soyuz T-8 (URSS) Nave tripulada, falhou no acoplamento com a *Salyut VII*; V. Titov, G. Strekalov, A. Serebov; 2 dias e 18 minutos.

2 de junho - Vênus XV (URSS) Na órbita de Vênus; iniciou uma órbita de 24 horas à volta do planeta no dia 10 de outubro de 1983; realizou um mapeamento da superfície e pesquisas atmosféricas.

7 de junho - Vênus XVI (URSS) Na órbita de Vênus; iniciou uma órbita de 24 horas à volta do planeta no dia 14 de outubro de 1983; realizou um mapeamento da superfície e pesquisas atmosféricas.

18 de junho - STS-7 (EUA) Segundo voo experimental orbital do ônibus espacial *Challenger*; usou um braço de manipulação por controle remoto para recuperar um satélite-alvo; Robert Crispen, Sally Ride (primeira

mulher norte-americana no espaço), Norman Thagard, John Fabian, Frederick Hauck; 6 dias e 2 horas.

27 de junho - Soyuz T-9 (URSS) Nave tripulada; acoplamento com a *Salyut VII*; realizou testes para controlar complexos tripulados de grande porte no espaço; V. Lyakhov, A. Aleksandrov; 149 dias e 9 horas.

30 de agosto - STS-8 (EUA) Terceiro voo experimental orbital do *Challenger*; primeiro lançamento noturno de um veículo espacial; lançou um satélite que combinava as funções de comunicações e de meteorologia; Richard Truly, Daniel Brandenstein, William Thornton, Guion Bluford Jr., Dale Gardner; 6 dias e 1 hora.

20 de outubro - Progress XVIII (URSS) Nave de transporte de material consumível; não tripulada; reabasteceu a *Salyut VII*.

28 de novembro - STS-9 (EUA) Sexto voo do ônibus espacial *Columbia*; transportou para a órbita terrestre um laboratório espacial, construído na Europa, cujo objetivo era realizar experiências nas áreas de física, astronomia e medicina; John Young, Brewster Shaw Jr., Owen Garriott, Ulf Merbold (Alemanha Ocidental), Byron Lichtenberg; 10 dias e 7 horas.

1984

3 de fevereiro - STS 41-B (EUA) Quarto voo do ônibus espacial *Challenger*; primeiro passeio no espaço sem utilização de cabo; Vance Brand, Robert Gibson, Ronald McNair, Bruce McCandless, Robert Stewart; 7 dias e 23 horas.

8 de fevereiro - Soyuz T-10 (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a *Salyut VII*; L. Kizim, V. Solovyov; O. Atkov; 237 dias.

3 de abril - Soyuz T-11 (URSS) Nave com tripulação internacional; acoplamento com a *Salyut VII* (ocupada pela tripulação da Soyuz T-10); Y. Malyshev, R. Sharma (Índia), G. Strekalov; 8 dias.

6 de abril - STS 41-C (EUA) Quinta missão do ônibus espacial *Challenger*; primeiro conserto de um satélite danificado, o Solar Maximum, ou Solar Max, no espaço; Robert Crippen, Francis Scobee, George Nelson, Terry Hart, James van Hoften; 6 dias e 23 horas.

17 de julho - Soyuz T-12 (URSS) Acoplamento com a *Salyut VII* (ainda ocupada com a tripulação da Soyuz T-10); primeira mulher a andar no espaço, Svetlana Savitskaya (3 horas e 30 minutos de atividade extraveicular); V. Dzhanibekov, I. Volk; 11 dias e 19 horas.

30 de agosto - STS 41-D (EUA) Vôo inaugural do ônibus espacial *Discovery*; lançou três satélites e um painel experimental movido a energia solar; Henry Hartsfield, Michael Coats, Richard Mullane, Judith Resnik, Steven Hawley, Charles D. Walker; 6 dias e 56 minutos.

5 de outubro - STS 41-G (EUA) Sexto vôo do ônibus espacial *Challenger*; tripulação internacional; realizou observações oceanográficas, geológicas e meteorológicas; lançou um satélite; Robert Crippen, Jon McBride, Kathryn Sullivan (primeira atividade extraveicular realizada por uma astronauta norte-americana); Sally Ride, Marc Garneau (Canadá), David Leestma, Paul Scully-Power; 8 dias e 5 horas.

8 de novembro - STS 51-A (EUA) Segundo vôo do *Discovery*; primeira recuperação de satélites danificados; Frederick Hauck, David Walker, Anna Fisher, Joseph Allen, Dale Gardner; 7 dias e 23 horas.

15 de dezembro - Vega I (URSS) Sonda enviada para Vênus e para o cometa Halley; chegou a Vênus no dia 10 de junho de 1985; alocou um balão atmosférico com equipamento de pouso; encontro com o cometa Halley em 6 de março de 1986.

21 de dezembro - Vega II (URSS) Sonda enviada para Vênus e para o cometa Halley; chegou a Vênus no dia 14 de junho de 1985; alocou um balão atmosférico com equipamento de pouso; encontro com o cometa Halley em 9 de março de 1986.

1985

7 de janeiro - Sakigake (Japão) Nave não tripulada; encontro com o cometa Halley em março de 1986.

24 de janeiro - STS 51-C (EUA) Terceiro vôo do ônibus espacial *Discovery*; alocou satélite militar; Thomas Mattingly, Loren Shriver, James Buchli, Ellison Onizuka, Gary Payton; 3 dias e 1 hora.

12 de abril - STS 51-D (EUA) Quarto vôo do ônibus espacial *Discovery*; alocou dois satélites de comunicação; Karol Bobko, Donald Williams, Charles Walker, Jeffery Hoffman, S. David Griggs, Rhea Seddon, Sen. Jake Garn (R-Utah); 6 dias e 23 horas.

29 de abril - STS 51-B (EUA) Sétimo vôo do

ônibus espacial *Challenger*; alocou um satélite programado para calibrar o radar dos centros de controle de tráfego aéreo na América do Norte e na América do Sul; Robert Overmyer, Frederick Gregory, Don Lind, Taylor Wang, Lodewijk van den Berg, Norman Thagard, William Thornton; 7 dias e 9 minutos.

6 de junho - Soyuz T-13 (URSS) Acoplamento e recuperação da nave *Salyut VII*; V. Dzhanibekov, V. Savinykh; primeiro revezamento de tripulação no espaço (T-13 voltou à Terra no dia 25 de setembro com Dzhanibekov e G. Grechko, membro da tripulação da Soyuz T-14, que havia chegado no dia 18 de setembro); 111 dias.

17 de junho - STS 51-G (EUA) Quinto vôo do ônibus espacial *Discovery*; tripulação internacional; lançou três satélites de comunicação; lançou e recuperou uma plataforma de pesquisas de astronomia; John Creighton, Shannon Lucid, Steven Nagel, Daniel Brandenstein, John Fabian, Príncipe Sultão Salman Abdel Aziz Al-Saud (Arábia Saudita), Patrick Baudry; 7 dias e 1 hora.

2 de julho - Giotto (Agência Espacial Européia) Sonda não tripulada; encontro com o cometa Halley em 13 de março de 1986.

29 de julho - STS 51-F (EUA) Oitavo vôo do ônibus espacial *Challenger*; transportou instrumentos do *Spacelab II* para observações solares e estelares; Gordon Fullerton, Roy Bridges Jr., Anthony England, F. Story Musgrave, Karl Henize, Loren Acton, John-David Bartoe; 7 dias e 22 horas.

27 de agosto - STS 51-I (EUA) Sexto vôo do ônibus espacial *Discovery*; dois membros da tripulação consertaram — durante dois dias de atividades extraveiculares — um satélite em órbita; Joe Engle, Richard Covey, James van Hoften, William Fisher, John Lounge; 7 dias e 2 horas.

17 de setembro - Soyuz T-14 (URSS) Acoplamento com a *Salyut 7* (ocupada pela tripulação da Soyuz T-13); Vasyutin, A. Volkov, G. Grechko. Em 25 de setembro, devido a uma emergência médica, Grechko e V. Dzhanibekov, membros da tripulação do T-13, foram obrigados a retornar à Terra.

3 de outubro - STS 51-J (EUA) Primeiro vôo do ônibus espacial *Atlantis*; alocou carga

militar; Karol Bobko, Ronald Grabe, David Hilmers, William Pailles, Robert Stewart; 4 dias e 1 hora.

30 de outubro - STS 61-A (EUA) Nono vôo do ônibus espacial *Challenger*; sob a direção da Alemanha Ocidental, o veículo realizou experiências desenvolvidas por diversos cientistas europeus; Henry Hartsfield, Steven Nagel, Bonnie Dunbar, James Buchli, Guion Bluford Jr., Wubbo Ockels, Ernst Messerschmid, Reinhard Furrer; 7 dias e 45 minutos.

26 de novembro - STS 61-B (EUA) Segundo vôo do ônibus espacial *Atlantis*; durante mais de duas horas de atividade extraveicular, dois astronautas exercitaram técnicas de construção dentro e à volta do compartimento de carga; lançou três satélites de comunicação; Brewster Shaw Jr., Bryan O'Connor, Jerry Ross, Sherwood Spring, Mary Cleave, Charles Walker, Rudolfo Neri Vela (México); 6 dias e 20 horas.

1986

12 de janeiro - STS 61-C (EUA) Sétimo vôo do ônibus espacial *Columbia*; alocou um satélite de comunicações e conduziu várias experiências científicas; estava programado para observar o cometa Halley, mas a câmara falhou; Robert Gibson, Charles Bolden, George Nelson, Steven Hawley, Robert Cenker, Franklin Chang-Diaz, Bill Nelson (D-Fla.); 6 dias.

28 de janeiro - STS 51-L (EUA) Décimo vôo do ônibus espacial *Challenger*; explodiu logo após a decolagem, causando a morte dos sete membros da tripulação; Frances Sconbee, Michael Smith, Judith Resnik, Ronald McNair, Ellison Onizuka, Gregory Jarvis, Sharon Christa McAuliffe.

20 de fevereiro - MIR (URSS) Segunda estação espacial lançada pela União Soviética; projetada com cinco portos de acoplamento para espaçonaves tripuladas e de transporte (a *Salyut VII* possuía dois).

13 de março - Soyuz T-15 (URSS) Espaçonave tripulada; acoplamento com a estação espacial *Mir*; primeira transferência de uma estação espacial em órbita para outra: da *Mir* para a *Salyut VII*; L. Kizim, V. Solovyov; 125 dias.

Glossário

Acelerômetro Instrumento para medir variações de velocidade.

Acentuação da cor Técnica para extrair o máximo possível de informação das imagens digitais, através da acentuação de pequenas diferenças de cor.

Acentuação de contraste Técnicas de revelar detalhes dos dados da imagem digital, acentuando as mínimas diferenças de sombreado.

Algoritmo Um procedimento gradual para resolução de problemas.

Antena de alto ganho Antena que transmite e recebe informações através de ondas eletromagnéticas de alta frequência.

Atitude A orientação de um veículo (um avião ou uma nave espacial, por exemplo), determinada pela relação entre uma linha fixa de referência e os eixos verticais, laterais e longitudinais do veículo.

Atuador Instrumento que transforma energia elétrica, hidráulica ou pneumática em movimento.

Backup Um componente do hardware ou do software disponível para uso em caso de falha do equipamento ou de um programa. A reserva pode não ser capaz de executar todas as funções de um sistema primário; é apenas uma medida de segurança.

Bit Unidade mínima de informação em um computador, representada por dois valores distintos (1 ou 0). A palavra "bit" é uma contração de "binary digit" (dígito binário).

Buffer Espaço reservado na memória do computador para armazenar dados temporariamente, muitas vezes antes de serem transmitidos ou logo após terem sido recebidos.

Byte Uma seqüência de bits, geralmente oito, considerados como uma unidade para finalidades de computação e armazenamento.

Centro de gravidade Ponto em que se concentra todo o peso de um corpo. O corpo, apoiado nesse ponto, estará em equilíbrio.

Circuito analógico Circuito que transporta a corrente de forma continuamente variável.

Circuito integrado Circuito eletrônico cujos componentes estão dispostos sobre uma peça única de material semicondutor (uma substância, como o silício, cuja condutividade está entre a do metal e um não-condutor).

Compressão de dados Método para reduzir a quantidade de bits necessários à transmissão de uma determinada mensagem no menor espaço de tempo possível.

Computador analógico Um computador onde variáveis físicas contínuas — como o movimento de engrenagens ou a magnitude da tensão — representam dados.

Computador digital Máquina que opera com dados expressos em forma descontínua, do tipo chave liga-desliga, ao invés da representação contínua utilizada em um computador analógico.

Eixo Qualquer uma das três linhas de referência fixa de um avião ou nave espacial. Os eixos x, y e z em geral referem-se aos eixos longitudinais, laterais e verticais, respectivamente.

Equações de movimento Uma série de equações matemáticas que expressam a posição de um corpo no espaço como uma função do tempo.

EVA (atividade extraveicular) Atividade de um astronauta fora da nave, no vácuo do espaço; também chamada passeio no espaço.

Frequência Número de vezes por segundo que um ciclo de onda se repete (um pico e uma depressão).

Geoestacionário Que pertence a uma órbita 36 000 quilômetros acima da linha do equador, onde, para um observador da Terra, um satélite parece estar estacionário, pois o período de órbita é exatamente 24 horas.

Giroscópio de velocidade de rotação Dispositivo que mede a velocidade da mudança da posição de uma nave em volta de seus três eixos direcionais de movimento.

Input Informação introduzida em um computador, ou transferida de uma parte do sistema de computação para outra.

Inteligência artificial (IA) Programas de computador que tomam como modelo a capacidade de aprendizado, percepção e julgamento dos seres humanos.

Interrupção Parada temporária na execução de um programa, ou sinal que provoca essa parada.

Janela de lançamento Intervalo específico durante o qual uma espaçonave deve ser lançada para atingir seu alvo; termo usado com frequência em relação à interceptação de uma determinada órbita em volta da Terra.

Linguagem de computador Um conjunto de palavras, letras, números e abreviações mnemônicas, reguladas por uma sintaxe específica e utilizadas para escrever um programa de computação.

Mainframe Computador de grande porte usado principalmente para apoiar diversos usuários através de dispositivos periféricos.

Memória Instalações para armazenagem de dados em um computador. Geralmente esse termo é aplicado à armazenagem interna em oposição à armazenagem externa, como disquetes ou fitas.

Memória apenas para leitura (ROM) Memória interna permanente, contendo dados ou instruções de operação que não podem ser alterados.

Memória de acesso aleatório (RAM) Memória interna temporária que contém informação passível de ser alterada pela CPU; algumas vezes é chamada memória de leitura/gravação.

Memória de núcleo Um tipo de memória de computador que emprega milhares de núcleos magnetizados, em formato de rosca, para armazenar um bit em cada um. Os núcleos são conectados por fios ao longo dos quais transitam impulsos com a finalidade de ler ou registrar dados.

Memória de núcleo com cabo Tipo específico de memória de núcleo apenas para leitura, em que um fio conectado a um núcleo magnetizado representa o valor um (1), e o núcleo desconectado representa o valor zero (0).

Memória fixa Memória que não pode ser sobrescrita; apenas lida.

Microprocessador Um computador pequeno com funções aritméticas e lógicas, formado por circuitos integrados, freqüentemente em um único chip. Os microprocessadores muitas vezes são projetados para uma única finalidade como, por exemplo, fazer funcionar um relógio digital.

Modulação Processo de codificar um sinal com informação contida em outro sinal.

Movimento em torno do eixo vertical Movimento de uma nave em

volta de seu eixo vertical com a ponta e a cauda da espaçonave movimentando-se de um lado para o outro.

Movimento longitudinal Movimento de uma nave em volta de seu eixo lateral; a ponta move-se, longitudinalmente em sentido ascendente e descendente, em volta do eixo.

Multiplador/demultiplador (MDM) Dispositivo para controlar uma via de dados que envia diversas transmissões pela mesma linha. Em um veículo espacial, um MDM codifica — em forma digital — os dados sensórios de entrada e os envia, através da via de dados, para os computadores da nave. Também traduz os comandos digitais.

Órbita A trajetória de um satélite em volta de um corpo principal, em resposta ao esforço gravitacional daquele corpo.

Órbita polar Uma órbita cujo plano passa pelos pólos Norte e Sul do planeta Terra.

Orientação Seqüência de manobras exigidas para que um veículo espacial ou aeronáutico transite de um ponto a outro ao longo de uma trajetória determinada.

Output São os dados apresentados por um computador diretamente ao usuário, ou a um outro computador, ou a determinado tipo de armazenamento.

Palavra Unidade de armazenamento básico de uma operação computadorizada; uma seqüência de bits — geralmente entre 8 e 32 —, que ocupam o mesmo local de armazenagem, e são processados pelo computador como se fossem uma unidade.

Paralelo Refere-se ao manuseio de dados ou instruções em grupos de diversos bits simultaneamente, ao invés de um bit de cada vez.

Plano eclíptico Plano da trajetória seguida pela Terra durante sua volta anual em torno do Sol.

Plataformas Estruturas grandes, semelhantes a satélites, projetadas para orbitar próximo a uma estação espacial tripulada, e serem utilizadas como estações de observação da Terra, observatórios de astrofísica e laboratórios com gravidade igual a zero.

Processamento de imagem Técnicas de computação para criar ou reagrupar imagens a partir de dados digitalizados.

Programa de computador Uma seqüência de instruções detalhadas para executar uma operação ou resolver um problema com o uso do computador.

Radar com abertura sintética (SAR) Um sistema de imagens que permite a uma nave espacial, equipada com uma antena relativamente curta, recolher dados como se estivesse equipada com uma grande antena. A antena transmite impulsos em microondas para uma superfície planetária e reúne seus ecos refletidos enquanto a espaçonave transita ao longo de sua trajetória.

Redundância do computador Sistema de proteção contra defeitos no hardware, onde dois ou mais computadores idênticos são usados para processar, simultaneamente, softwares idênticos. Em casos de redundância tripla ou quádrupla, os computadores seriam capazes de comparar dados e resultados a fim de identificar um computador com defeito.

Retrofogete Um pequeno motor de foguete que interrompe o mo-

vimento para frente de um veículo espacial, provocando um impulso na direção oposta.

Rotação em torno do eixo longitudinal Movimento de uma aeronave em volta de seu eixo longitudinal.

Sensor Dispositivo que recolhe informação e transforma a energia física, como temperatura, em um sinal elétrico, passível de ser traduzido e utilizado pelo computador.

Sensor direto Dados científicos — reunidos por instrumentos como magnetômetros e detectores de partículas — que entram em contato com a atmosfera ou ambiente contíguos. Veja também **sensor remoto**.

Sensor remoto Dados científicos reunidos através de instrumentos de longo alcance, como radares e câmeras.

Seqüenciador Dispositivo eletrônico de cronometragem de tempo, utilizado para iniciar atividades em sondas não tripuladas (por exemplo, antes do advento de computadores de bordo da nave).

Simulador Um recurso que usa computadores e equipamentos especiais para imitar condições reais com a finalidade de treinar tripulações ou testar hardware.

Sincronização do computador Um procedimento do software, usado para garantir que computadores redundantes, executando softwares idênticos, estão em perfeita sincronia uns com os outros.

Sistema de controle Sistema computadorizado — em uma nave espacial ou veículo de lançamento —, que efetua manobras para orientar a nave.

Sistema de orientação inercial Instrumentação autônoma que percebe a atitude e aceleração da nave, e depois calcula a posição e velocidade do veículo.

Software Instruções ou programas projetados para serem executados pelo computador.

Telemetria Sinais das quantidades medidas, geralmente transmitidas entre um veículo espacial e uma estação terrestre distante.

Tempo real Relativo ao processamento que é sincronizado com um processo físico no mundo real.

Trajetória Caminho — com pontos de partida e chegada específicos — percorrido por um corpo em movimento.

Transistor Dispositivo eletrônico semicondutor, usado como interruptor ou amplificador.

Unidade Central de Processamento (CPU) A parte do computador que interpreta e executa instruções. É formada por uma unidade aritmética lógica, uma unidade de controle e uma pequena memória.

Válvula Primeiro tipo de interruptor eletrônico; posteriormente foi substituído pelo transistor.

Via Um condutor ou uma série de condutores que transmitem informações entre as partes de um computador.

Índice

Os numerais em *itálico* indicam que há uma ilustração sobre o assunto mencionado.

A

Aldrin, Buzz 45, 57
Apolo, Projeto 31, 38-46; sistema de orientação abortivo 45; sistema de equipamento de aceitação para inspeção final 39; *Apolo I* 44, 57; *Apolo VII, VIII, IX, X* 45, 57; *Apolo XI* 45-46, 57; *Columbia* 45; módulo de comando (CM) 38, 42, 45; DSKY 45; *Eagle* 45-46; sistema de orientação 41-45, 46; módulo lunar (LM) 38, 42, 45; encontro em órbita lunar (LOR) 32, 38; módulo de serviço 38; software 44
Armstrong, Neil 37, 45-46, 56
Atlantis 60
ATOLL (linguagem de aceitação, teste ou lançamento) 41
Aurora VII 5-6

B

Babb, Del 35
Borman, Frank 36, 56, 57
Burroughs 15, 17
Bush, Vannevar 8

C

Cabo Canaveral (Kennedy) 5, 15, 16, 38
Carpenter, Scott 5, 56
Centro de pesquisas Langley 32, 38
Centro de Vôos Espaciais Tripulados 32
Centro de Voo Espacial George C. Marshall 32, 40
Centro de Voo Espacial Goddard 5, 32, 39
Chaffee, Roger 44, 57
Challenger 19, 59, 60
Circuitos integrados e o programa espacial 43
Collins, Michael 45, 56
Columbia 59, 60
Computador analógico 8-9; versus digital 8, 40
Computadores e voo espacial 6; primeiros trabalhos dos alemães 6-7, 9-11; primeiros trabalhos dos EUA 11; equipamento de teste 38-41. *Veja também* Marcos da computação espacial
Conrad, Charles Jr. (Pete) 56, 57, 58
Control Data Corporation (CDC) 160 G 39
Cooper Gordon 18, 56
Crippen, Robert 59, 60

D

Discovery 60, 61
Draper, Charles Stark 42

E

Echo, Projeto 12
Elipse de transferência de Hohmann 52-53, 54-55
Estações Espaciais 53
Explorer I 11, 56

F

Faith 7 18
Farrior, James 11
Foguete *Atlas* 16, 33
Foguete *Júpiter C* 11

Foguete *Saturno V* 40
Foguete *Titan II* 32
Friendship 7 16, 17-18

G

Gagárin, Iúri 11, 56
Gemini, Projeto 18, 31, 33, 37; *Gemini III* 35, 56; *Gemini IV* 35, 56; *Gemini V* 36, 56; *Gemini VI* 36, 56; *Gemini VII* 36, 56; *Gemini VIII* 37, 56; *Gemini XII* 37-57; sistema de orientação 31, 32-37
Giotto 61
Glenn, John 16, 17, 56
Grissom, Gus 5, 16, 35, 44, 56, 57

H

Hall, Eldon 42
Hirschler, Otto 10
Hoelzer, Helmut 7-11
Houbolt, John 32, 37

I

IBM: e Gemini 31-36; computador digital para lançamento de veículo (LVDC) 40; e Mercury 14, 16; 650 12; 709 14, 15, 17; 7090 14-15, 7094 33

J

Jimerson, Lenoy 31

K

Kennedy, John F. 12
Kerwin, Joseph P. 57

L

Lenz, John 31
Lovell, James 36, 56, 57

M

Marietta Martin, Corporation 32
Mariner, Projeto: Mariner II 56; Mariner IV 56; Mariner Marte 57; Mariner X 58
Marte, Missões rumo a 47, 48-49, 54-55
McDivitt, James 35, 56, 57
McDonnell Aircraft 31, 32
Mecânica celeste 48-49
Memória: fitas auxiliares (ATM) 37; núcleo 34;
Mercury, projeto 5, 11, 13-18; hardware 13-15, 17; software 13, 16; teste 38
Missil Redstone 11
Missil V-2 7, 9, 11
MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) e sistemas de orientação da Apollo 41-45, 46; Bloco I 42; Bloco II 43
Morton, John 17

N

NASA (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço) 11; critérios para escolha de equipamento 14, 15; independência das naves espaciais 42, 44
Navegação no espaço 47; e mecânica celeste 48-49; mudança dos planos orbitais 48, 54-55; mudança das órbitas 52-53; unidade de

medida inercial (IMU) 34, 50, 51
Nova (foguetes) 31, 32

O

Ônibus espacial: *Challenger* 19, 60, 61; *Columbia* 59, 60

P

Pioneer X e XI 57
Primeiras missões espaciais da União Soviética 11
Primeiras missões espaciais norte-americanas 11

R

Raymond Engineering Laboratory 37
RCA 110 40
Redundância nos computadores 35
Richard, Ludie 40

S

Schirra, Wally 32, 36, 56, 57
Scott, David 37, 56, 57
Shepard, Alan 16, 56, 57
Simuladores, ônibus espacial 19, 20-29
Sistemas de orientação, *Veja* Apollo, projeto; Gemini, projeto; Sistemas de orientação inercial
Sistemas de orientação inercial 9-10, 50; *Gemini* 31-36
Sputnik I, II 11, 56; *Sputnik III, V* 56
Stafford, Thomas 36, 56, 57, 58
Steuding, Hermann 10
Surveyor I 56

T

Tindall, Bill 12, 15, 43, 44
Trageser, Milton 41
Transmissão de dados 15

V

Vanguard I 11, 56
Vênus I 56
Viagens interplanetárias 47, 48-55
Von Braun, Wernher 7, 10, 11, 32, 38, 40

W

Walton, Thomas 38, 40
Webb, James 42
Weitz, Paul J. 57, 59
White, Edward 35, 44, 56, 57
Woods, Gary 39, 40

Y

Young, John 35, 45, 56, 57, 59

EDITOR
RICHARD CIVITA



NOVA CULTURAL

Presidente: Flávio Barros Pinto
Diretoria: Anselmo Pecci, Pierluigi Bracco, Plácido Nicoletto, Walter Thomé

REDAÇÃO

Diretor: Carmo Chagas
Editora Executiva: Stefania Crema

COMERCIAL

Diretor: Plácido Nicoletto
Gerente Comercial: Joaquim Celestino da Silva
Gerente de Circulação: Denise Mozol
Gerente de Propaganda e Promoções: José Carlos Mádio
Gerente de Pesquisa e Análise de Mercado: Wagner M. P. Nabuco de Araújo

PRODUÇÃO EDITORIAL

Pedro Paulo Poppovic Consultores Editoriais S/C Ltda.
Diretor: Pedro Paulo Poppovic
Editores-chefe: Elzira Arantes
Editores: Elisabeth Justino Carastan, Sandra R. F. Espilotro
Secretária editorial: Kátia de Arantes Leite
Arte: Massumi Guibu (chefe), Luciano Guimarães, Sônia Regina Aversa (diagramadores)
Projeto gráfico: OZ Desenho e Associados
Colaboradores: Mathias Mendes Wolff (consultoria), Ana Maria Rocha (tradutora), Adília T. Belotti (copidesque)

A Editora Nova Cultural Ltda. é uma empresa do Grupo CLC — Comunicações, Lazer e Cultura

Presidente: Richard Civita

Diretoria: Flávio Barros Pinto, João Gomez, Menahem M. Politi, Renê C. X. Santos, Stélio Alves Campos

TIME LIFE BOOKS INC.

DIRETOR DA SÉRIE: Roberta Conlan e Lee Hasing
Coordenador da série: Loretta Britten
Programador visual: Ellen Robling
Editores associados: Susan V. Kelly (ilustrações); Lydia Preston, Allan Fallow (texto)
Pesquisadores: Roxie France-Nuriddin, Tiña S. McDowell, Pamela L. Whitney
Editores de texto: Esther Ferington, Robert M. S. Somerville
Assistente de programação visual: Sue Deal
Editor assistente: Miriam P. Newton
Coordenador de revisão: Vilasini Balakrishnan
Coordenador iconográfico: Renée DeSandies
Colaboradores especiais: Ronald H. Bailey, Marcia Bartusiak, Ken Croswell, Edward Dolnick, Carol Jean Howard, Valerie Moolman, Steve Olson, David Thiemann e M. Mitchell Waldrop (texto); Steven Feldman, Melva Holloman, Suzanne Sorrentino e Susan Stuck (pesquisa).

CONSULTOR GERAL

JAMES E. TOMAYKO, professor do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Estadual de Wichita.

OUTROS CONSULTORES

JACK BOYKIN, MARK K. BRYAN, PAUL CERUZZI, STEWART A. COLLINS, EDWARD COPPS, ROBERT FRAMPTON, FRANK E. HUGHES, PETER M. KACHMAR, R. BRAD PERRY JR., MELVIN L. RICHMOND, DONNA M. WOLFF

Créditos das fotos Os créditos das ilustrações e fotos estão separados da esquerda para a direita por ponto-e-vírgula, e de cima para baixo por travessão.
Capa 4: ilustração de Stephen Wagner. 8: ilustração de Stephen Wagner, fotografia da National Aeronautics and Space Administration (NASA). 12-14: ilustrações de Matt McMullen. 19-29: ilustrações de James Hunt. 30, 31: ilustrações de Stephen Wagner. 32, 33: ilustrações de Stephen Wagner, fotografias da NASA. 38, 39: ilustrações de Stephen Wagner, fotografias da NASA. 47-55: ilustrações de Matt McMullen.

