COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

ASTRONÁUTICA

PLANO DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AEB AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Ministério da Educação

Ministério da Ciência e Tecnologia

BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

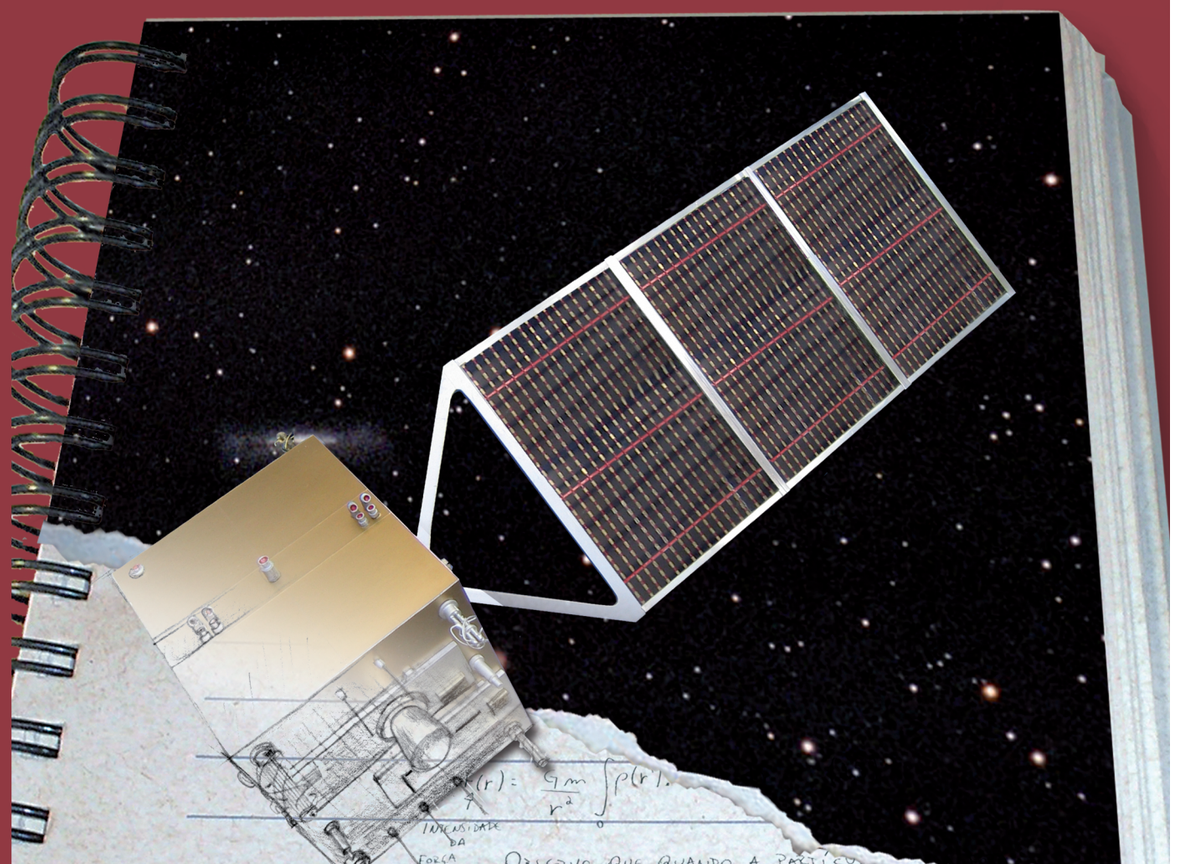
COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

VOLUME 12

ASTRONÁUTICA

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

ASTRONÁUTICA



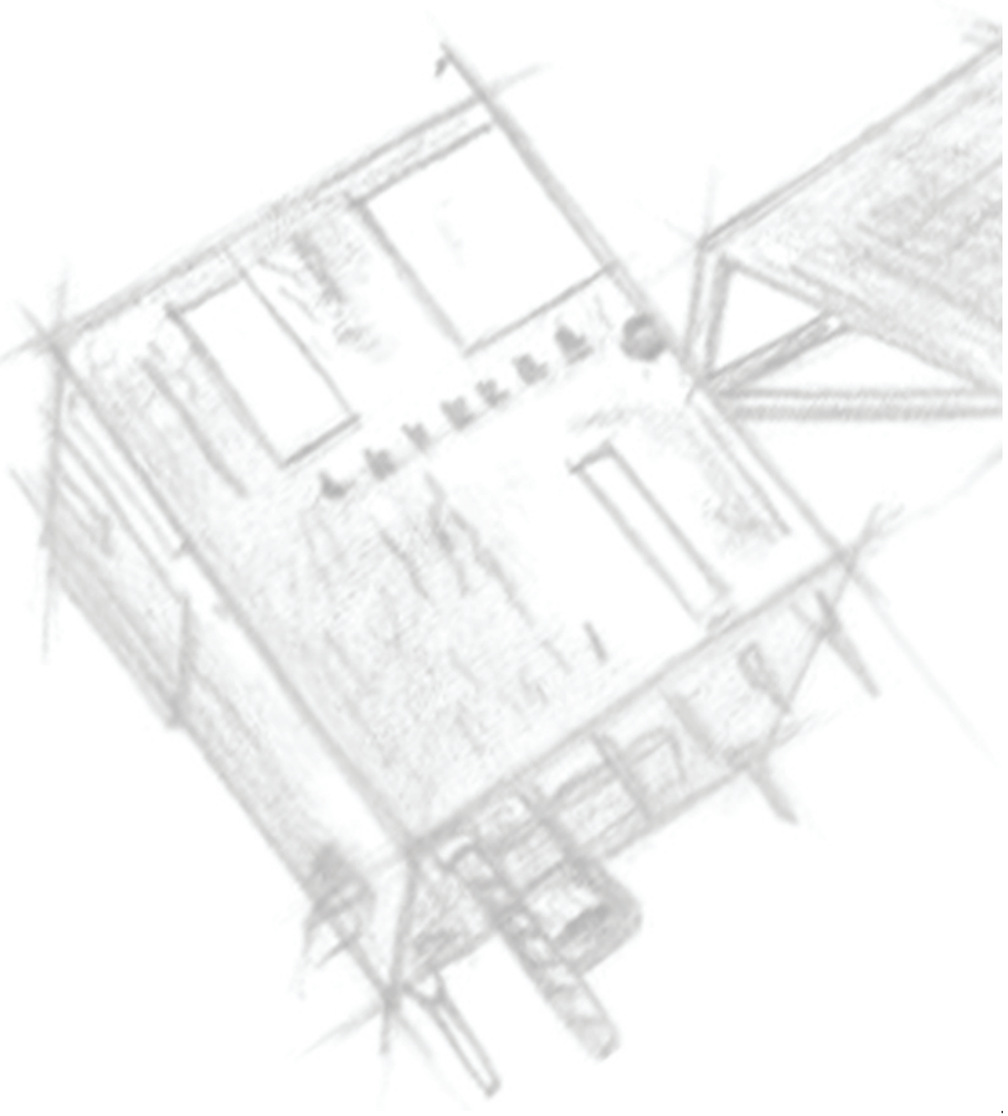
Fronteira Espacial - Parte 2

12 VOLUME

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA



COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO

FRONTEIRA ESPACIAL

PARTE 2

VOLUME 12

ASTRONÁUTICA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

COLEÇÃO EXPLORANDO O ENSINO
Vol. 1 – Matemática (Publicado em 2004)
Vol. 2 – Matemática (Publicado em 2004)
Vol. 3 – Matemática: Ensino Médio (Publicado em 2004)
Vol. 4 – Química
Vol. 5 – Química
Vol. 6 – Biologia
Vol. 7 – Física
Vol. 8 – Geografia
Vol. 9 – Antártica
Vol. 10 – O Brasil e o Meio Ambiente Antártico
Vol. 11 – Astronomia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Centro de Informação e Biblioteca em Educação (CIBEC)

Nogueira, Salvador.
Astronáutica : ensino fundamental e médio / Salvador Nogueira, José Bezerra Pessoa Filho, Petrônio Noronha de Souza . – Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, 2009.
348 p. -- : il. – (Coleção Explorando o ensino ; v. 12)

ISBN 978-85-7783-016-9

Na capa: Fronteira Espacial – Parte 2

1. Astronáutica. 2. Ensino fundamental. 3. Ensino médio.
I. Brasil. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica.
II. Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. III. Agência Espacial Brasileira. IV. Título.

CDU 629.78

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

ASTRONÁUTICA

ENSINOS FUNDAMENTAL E MÉDIO

BRASÍLIA
2009

Secretaria de Educação Básica

Diretoria de Políticas de Formação, Materiais Didáticos e Tecnologias para Educação Básica

Diretoria de Concepções e Orientações Curriculares para Educação Básica

Coordenação-Geral de Materiais Didáticos

Coordenação-Geral de Ensino Médio

Agência Espacial Brasileira

EQUIPE TÉCNICA
Andréa Kluge Pereira
Cecília Correia Lima
Elizângela Carvalho dos Santos
José Ricardo Albernás Lima
Lucineide Bezerra Dantas
Lunalva da Conceição Gomes
Maria Marismene Gonzaga

EQUIPE DE APOIO
Andréa Cristina de Souza Brandão
Leandro Pereira de Oliveira
Paulo Roberto Gonçalves da Cunha

COORDENAÇÃO
Ivette Maria Soares Rodrigues
Gestora do Programa AEB Escola da Agência Espacial Brasileira (AEB)

AUTORIA
Salvador Nogueira

CO-AUTORIA E REVISÃO TÉCNICA
José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA)
Petrônio Noronha de Souza (Inpe)

COLABORAÇÃO
Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj)
Angélica Di Maio (IG/UFF)
Carlos Alexandre Wuenshe de Souza (Inpe)
Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira
Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA)
Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza (UFRJ)
Elisa M. K. Farinha Saeta (SME/PMSJC)
Geraldo Barbosa de Oliveira Filho (SEDF)
Gilvan Sampaio de Oliveira (Inpe/Cptec)
Jhonny Viana Borges (CEF02 Paranoá/SEDF)
João Batista Garcia Canalle (Uerj)
José Leonardo Ferreira (UnB)
Luiz Bevilacqua (UFABC)
Nilson Marcos Dias Garcia (UTFPR)
Norma Teresinha Oliveira Reis (MEC)
Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj)
Pedro Sérgio Baldessar (UTFPR)
Ronaldo da Silva Rodrigues (UnB)

REVISÃO GERAL
Angélica Di Maio (IG/UFF)
Ayrton Lugarinho (SE/DF)
Carlos Alberto Olivieri (Consultor Ad. do MEC)
João Batista Garcia Canalle (Uerj)
Kátia Chagas Lucio (Formata)
Marcos Barbosa Sanches (Inpe)

REVISÃO ORTOGRÁFICA
Cely Curado
Yolanda Ribeiro da Silva Souza

PROJETO EDITORIAL
Kátia Chagas Lucio (Formata)

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO
Sueli Prates (AEB/Programa AEB Escola)

CAPA
Leonardo Nemmer (AEB/Programa AEB Escola)

Tiragem 73.634 exemplares

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO BÁSICA
Esplanada dos Ministérios, Bloco L, Sala 500
CEP: 70047-900 Brasília – DF
Tel. (61) 2104-8177 / 2104-8010
http://www.mec.gov.br

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA
Setor Policial Sul (SPO), Quadra 3, Bloco A
CEP: 70610-200 Brasília – DF
Tel. (61) 3411-5024 / 3411-5678
http://www.aeb.gov.br

SUMÁRIO

Parte 2: ASTRONÁUTICA

APRESENTAÇÃO | 241

INTRODUÇÃO | 249

CAPÍTULO 4

RUMO AO ESPAÇO | 253

PENSANDO EM FOGUETES | 257

CORRIDA PELA SUPREMACIA MUNDIAL | 263

ROBÔS NO ESPAÇO | 273

Exploração de Marte | 274

Exploração de Vênus | 280

Retorno de amostras | 283

Exploração de Mercúrio | 283

Exploração do Sistema Solar Exterior | 284

SANTOS DUMONT, UM VISIONÁRIO | 291

A MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA (MECB) | 294



LEITURAS COMPLEMENTARES | 299

FOGUETES | 299

OS CENTROS BRASILEIROS DE LANÇAMENTO DE FOGUETES | 311

A TEORIA DOS FOGUETES | 317
A FICÇÃO CIENTÍFICA VIRANDO FATO CIENTÍFICO | 323



ATIVIDADES | 326

COMPRESSÃO E DESCOMPRESSÃO | 326
LANÇAMENTO DE FOGUETES POR IMPULSÃO | 332
CONSTRUINDO UM CARRO-FOGUETE DE CORRIDA | 336
CONSTRUINDO E LANÇANDO FOGUETES | 340



DESAFIOS | 346

PARTE I | 346
PARTE II | 347



SALA DE PESQUISA | 353

CAPÍTULO 5

TERRA REDESCOBERTA NO ESPAÇO | 363

CINTURÕES DE RADIAÇÃO | 365
A ATMOSFERA TERRESTRE | 368
ENTENDENDO TEMPO E CLIMA | 374
TÃO LONGE, TÃO PERTO! A OBSERVAÇÃO DA TERRA POR MEIO DE SATÉLITES | 379
SUBPRODUTOS DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL | 386
TELECOMUNICAÇÕES EM ESCALA GLOBAL | 389
LOCALIZAÇÃO VIA SATÉLITE | 392
PROBLEMAS E DESAFIOS DO LIXO ESPACIAL | 394



LEITURAS COMPLEMENTARES | 398

OS SATÉLITES E SUAS ÓRBITAS | 398

OS SATÉLITES ARTIFICIAIS E SUATECNOLOGIA | 401

OS SATÉLITES DE COLETA DE DADOS (SCD) | 406

OS SATÉLITES SINO-BRASILEIROS DE RECURSOS TERRESTRES (CBERS) | 408

ALÉM DOS SATÉLITES | 412

O SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES | 414

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS) | 418



ATIVIDADES | 428

COMO GIRAR UM SATÉLITE | 428

CONCEITOS BÁSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO | 433

DECOMPOSIÇÃO DAS CORES | 444

O DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA | 447

OFICINA DE LEITURA DE IMAGENS | 456

EXPERIMENTOS EDUCACIONAIS EM MICROGRAVIDADE NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL – GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO | 461

CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL | 471

O TRABALHO NO ESPAÇO E OS DESAFIOS DE MOVIMENTAÇÃO EM UM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE | 480



DESAFIOS | 501

PARTE I | 501

PARTE II | 502



SALA DE PESQUISA | 506

CAPÍTULO 6

NOVAS FRONTEIRAS | 509

VIDA EM TODO LUGAR AQUI | 513

VIDA FORA DA ZONA HABITÁVEL? | 515
EXPLORANDO MUNDOS DISTANTES | 520
ASTRONOMIA E COSMOLOGIA DO FUTURO | 523
CIÊNCIA EM MICROGRAVIDADE | 526
DE VOLTA À LUA | 528
A CAMINHO DE MARTE | 531



LEITURA COMPLEMENTAR | 533

HÁ VIDA EM MARTE? | 533



ATIVIDADE | 537

JOGO “MISSÕES ESPACIAIS” | 537

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 557

APÊNDICE | 567

CONTEÚDOS COMPLEMENTARES | 567
CD 1 – Da Terra ao Espaço: tecnologia e meio ambiente na sala de aula (documentários) | 567
CD 2 – Missão Centenário | 568
CD 3 – Satélites e seus subsistemas | 569
CD 4 – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) | 570
CD 5 – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) | 571
CD 6 – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) – Utilização de recursos multimídia para o ensino médio e fundamental | 572
CD 7 – Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica | 573

PROGRAMA AEB ESCOLA – VIAJE NESSA IDÉIA ! | 574

APRESENTAÇÃO

A Secretaria de Educação Básica (SEB) do Ministério da Educação (MEC) e a Agência Espacial Brasileira (AEB/MCT), por meio do Programa AEB Escola, apresentam aos professores dos ensinos fundamental e médio mais um volume da Coleção Explorando o Ensino, iniciada com os volumes de Matemática. A presente obra tem o objetivo de apoiar o trabalho do professor em sala de aula, oferecendo um rico material didático-pedagógico, referente às diversas disciplinas da grade curricular.

Por sua abrangência, a temática "A Fronteira Espacial" foi dividida em dois volumes: Astronomia (volume 11) e Astronáutica (volume 12). O volume 11 aborda a tentativa do Homem em desvendar os mundos que o cerca, enquanto o volume 12 apresenta a fascinante viagem da espécie humana a alguns desses mundos. Tratam-se, portanto, de obras complementares.

O sonho de viajar ao espaço – e, portanto, a Astronáutica – nasceu com a nossa civilização, mas teve que aguardar séculos para se tornar realidade. Na falta da ciência e tecnologia que pudessem nos auxiliar nessa empreitada, optamos, inicialmente, pelas viagens virtuais, possíveis graças à nossa fértil imaginação. Neste contexto, data do ano 165 uma das primeiras viagens à Lua, por meio do livro Histórias Verdadeiras.

Leonardo da Vinci, Nicolau Copérnico, Johannes Kepler, Galileu Galilei e Isaac Newton foram alguns dos agentes responsáveis por uma série de transformações ocorridas ao final da Idade Média. Foi um período de grande avanço das ciências, o que possibilitou, ao final do século 20, que chegássemos, mais uma

vez, à Lua. Infelizmente, ainda era uma viagem virtual, tornada realidade graças à genialidade do pai da ficção científica: Júlio Verne, homem um século à frente do seu tempo.

Inspirados por Júlio Verne e por suas extraordinárias mentes, Santos Dumont, Kostantin Tsiolkovsky, Robert Goddard, Sergei Korolev e Wernher von Braun deram asas à imaginação e tornaram ficção científica em fato científico.

No entanto, foram fatos ocorridos na esfera política (Guerra Fria) que fomentaram a Era Espacial. Os soviéticos deram o primeiro passo ao colocar o Sputnik em órbita da Terra, em outubro de 1957. O orgulho ferido, o instinto de sobrevivência e a genialidade política de John Kennedy deram início à Corrida Espacial, cujo prêmio era a Lua. Já era tarde da noite do dia 20 de julho de 1969 quando lá chegamos.

Na esteira da corrida lunar, centenas de espaçonaves não tripuladas foram lançadas para visitar os nossos vizinhos, cinco das quais ultrapassarão as fronteiras do Sistema Solar. Entretanto, a maior descoberta que fizemos do espaço foi a Terra. A partir de imagens obtidas pelos astronautas das missões Apollo, ganhamos uma nova dimensão do nosso lar. Desde então, a temática ambiental passou a ser objeto de discussões e preocupações de nossa civilização.

Mas, voltando às questões terráqueas, quais foram os benefícios trazidos pela Era Espacial? Foram muitos. Por exemplo, é difícil imaginar um cidadão que não ligue seu rádio ou sua TV para saber a previsão do tempo. Ao fazê-lo, talvez não faça idéia de que essas previsões são dependentes de informações obtidas de satélites meteorológicos. Outro exemplo são as partidas de futebol e outros eventos transmitidos "ao vivo". Tratam-se de comodidades já incorporadas ao nosso modo de vida, mas que somente são possíveis graças à existência de satélites de comunicação que orbitam nosso planeta a 36.000 km de distância. Por trás destas e de outras aplicações encontra-se a inteligência da nossa espécie.

Desde o Sputnik, colocamos em órbita mais de cinco mil satélites. A média atual é de um lançamento de satélite por

semana. Americanos, russos, ucranianos, israelenses, indianos, japoneses, europeus e chineses lançam satélites em um ritmo frenético. Mas por que só eles? Porque até o presente são os únicos que desenvolveram a tecnologia dos veículos lançadores de satélites, que são enormes foguetes capazes de atingir a velocidade de 28.000 km/h, ou mais.

A Astronáutica abrange todas as áreas do conhecimento humano, sem uma única exceção. Portanto, independentemente da disciplina que você leciona, estamos certos de que encontrará nesta obra farto e atualizado material para enriquecer suas aulas, tornando-as ainda mais agradáveis e instigantes. Além das suas habilidades como professor, você terá a seu favor o fato de que a temática naturalmente desperta o interesse dos jovens.

A equipe do AEB Escola e todos aqueles que contribuíram para a consecução deste livro desejam a você e aos seus alunos uma boa viagem.

Para facilitar sua viagem, o livro é dividido em três capítulos, enriquecidos com imagens e ilustrações. A seguir, apresentamos uma breve descrição da sistemática utilizada.

1ª Seção – Temática

É o "corpo" do capítulo, que aborda o tema descrito no seu título. Ao longo da seção, o leitor encontrará elementos interativos e informativos adicionais, incluindo:



Box "Saiba mais" – explica ou complementa o que o autor está desenvolvendo. Alguns são elaborados pelo próprio autor da seção e outros por especialistas e colaboradores da Agência Espacial Brasileira (AEB).



Glossário – palavras ou expressões menos usuais, ou mais complexas, são marcadas no texto com cor diferente e seu significado está expresso na margem lateral do texto.



Caixa de destaque – box pequeno, inserido ao longo do texto, de leitura rápida, que representa um reforço ou uma complementação ao texto principal.

Biografias – informações sobre a vida de alguns nomes importantes citados pelo autor. Estão dispostas na margem lateral do texto.



2ª Seção – Leituras complementares

Traz textos de autores diversos que ampliam a abordagem desenvolvida na seção temática.



3ª Seção – Atividades

Apresenta sugestões de atividades relacionadas à temática explorada no capítulo, as quais já foram realizadas e validadas em sala de aula e em cursos do Programa AEB Escola.



4ª Seção – Desafios

Traz desafios elaborados por especialistas e outros, selecionados das várias versões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). A idéia desta seção é divulgar uma estratégia didática de apoio à aprendizagem e estímulo aos alunos. Apenas alguns desafios têm respostas de modo que o professor e alunos devem procurar resolver os desafios por si sós. A equipe do Programa AEB Escola e o sítio da OBA serão seus aliados nesse processo.



5ª Seção – Sala de pesquisa

Apresenta sugestões de referências bibliográficas, sítios, filmes e outros elementos para aprofundamento ou ilustração da temática tratada no capítulo.

Ao final do volume é apresentada uma lista de referências bibliográficas consultadas ou utilizadas pelo autor e colaboradores da seção temática.

Disciplinas que podem ser trabalhadas na escola com o apoio do volume 'Astronáutica':

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 4	**Temática**	
	Rumo ao espaço	Ética, geografia, matemática, física, história, ciências, artes
	Leituras Complementares	
	Foguetes	Física, matemática, geografia, português, ciências, química
	Os centros brasileiros de lançamento de foguetes	Física, matemática, geografia, português, ciências
	A teoria dos foguetes	Física, matemática, geografia, português, ciências, química
	A ficção científica virando fato científico	Física, matemática, geografia, português, ciências
	Atividades	
	Compressão e descompressão	Física, artes, matemática, ciências, química
	Lançamento de foguetes por impulsão	Física, artes, matemática, ciências, química
	Construindo um carro-foguete de corrida	Física, artes, matemática, ciências, química
	Construindo e lançando foguetes	História, física, artes, matemática, ciências
	Desafios	Geografia, história, física, matemática, ciências, química
Capítulo 5	**Temática**	
	Terra redescoberta no espaço	Ética, geografia, matemática, física, história, ciências, química, artes
	Leituras Complementares	
	Os satélites e suas órbitas	Geografia, física, história, matemática, ciências, química
	Os satélites artificiais e sua tecnologia	Geografia, física, história, matemática, ciências, química

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 5 (continuação)	Os satélites de coleta de dados (SCD)	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	O satélite sino-brasileiro de recursos terrestres (Cbers)	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Além dos satélites	Geografia, física, história, matemática, ciências
	O sensoriamento remoto e suas aplicações	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	O Sistema de Posicionamento Global (GPS)	Geografia, física, história, matemática, ciências
	Atividades	
	Como girar um satélite	Geografia, física, história, matemática, ciências, artes
	Conceitos básicos de sensoriamento remoto	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Decomposição das cores	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências, química, artes
	O desmatamento da Amazônia	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Oficina de leitura de imagens	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	Experimentos educacionais em microgravidade na Estação Espacial Internacional – germinação de sementes de feijão	Ética, didática, geografia, matemática, física, história, ciências, química, artes
	Conservação de água na Estação Espacial Internacional	Geografia, física, história, matemática, ciências, química, artes
	O trabalho no espaço e os desafios de movimentação em um ambiente de microgravidade	Ética, geografia, matemática, física, história, ciências, química, artes
	Desafios	Geografia, física, história, matemática, ciências

Capítulo	Seção	Áreas predominantes
Capítulo 6	**Temática**	
	Novas fronteiras	Ética, geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Leitura Complementar	
	Há vida em Marte?	Geografia, física, história, matemática, ciências, química
	Atividade	
	Jogo “Missões Espaciais”	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências
	Desafios	Geografia, física, história, artes, matemática, ciências

INTRODUÇÃO

É um velho truque dos entusiastas dos programas espaciais, ao defender sua utilidade, enumerar quantas aplicações práticas e revolucionárias foram concebidas a partir dos usos pacíficos do espaço. A lista vai desde computadores sofisticados a telecomunicações globais, passando pela produção de energia limpa, sem falar nos avanços médicos e na ampliação sem precedentes do conhecimento científico. Tudo isso é verdade, e tocaremos nesses assuntos mais à frente, em circunstâncias mais oportunas. Mas aqui, no começo desta nossa viagem, vale a pena usar uma outra estratégia. Falemos, para início de conversa, da utilidade educacional do espaço.

Por que falar de exploração espacial pode ser potencialmente benéfico numa sala de aula? As respostas são muitas, e explicam muita coisa. Mas talvez a mais simples delas – e, paradoxalmente, a mais contundente – seja a de que crianças, em algum ponto de sua infância, invariavelmente sonham com o espaço. Seja assistindo a aventuras cósmicas na televisão, seja manifestando uma curiosidade natural pelos astros, são raros os meninos e meninas que nunca sonharam ser astronautas. E nada melhor que um sonho ou uma fantasia para despertar a curiosidade científica de um jovem.

Cronologicamente, a astronáutica (ciência que reúne todos os conhecimentos necessários às viagens espaciais) é uma natural sucessora da astronomia. Por essa razão, o volume anterior a este na coleção "Explorando o Ensino" é justamente um panorama da evolução astronômica, que permitiu o surgimento e a maturação

das viagens espaciais. Na verdade, os volumes 11 e 12 foram pensados como uma coisa só, de modo que recomendamos fortemente sua leitura na ordem original. Mas isso não é estritamente necessário. E dificilmente haverá conteúdo mais entusiasmante do que o que virá a seguir.

Além de apresentar um cenário rico e cheio de nuances (que oferece oportunidades para discussão de temas em sala de aula que vão desde a história do século 20 ao futuro da humanidade, passando pelo desenvolvimento econômico e pelo desafio à lei da gravitação ofertado pela ciência dos foguetes), este volume está recheado de propostas de atividades que farão dos alunos legítimos exploradores espaciais – dificilmente haverá oportunidade didática mais entusiasmante.

As sugestões são as mais variadas e trazem, entre outras, explicações elementares sobre o princípio de ação e reação de Isaac Newton e instruções para o "desenvolvimento" de minifoguetes pelos alunos. Esses artefatos, se não chegam ao espaço, demonstram exatamente as forças que envolvem uma missão desse tipo e ajudam os jovens a entenderem a ciência por trás desses esforços.

Embora esta obra tenha um forte viés voltado para propostas de atividades (herança do programa AEB Escola, da Agência Espacial Brasileira, que foi a força motriz deste projeto), que ninguém se engane: o livro também traz muitas informações valiosas na hora de preparar uma aula convencional. Dividido em três grandes capítulos, ele apresenta, em primeiro lugar, um panorama da corrida espacial, disputada inicialmente entre Estados Unidos e União Soviética (atual Rússia), mas não só por eles, e a revolução de conhecimentos acerca dos corpos celestes produzida por essa disputa. De quebra, um quadro detalhado de como surgiu e evoluiu o programa espacial brasileiro – esforço que, embora seja ainda hoje pouco conhecido, foi iniciado precocemente, em 1961.

Numa segunda etapa, relatamos a fantástica mudança de perspectiva ocasionada pelo estudo de um corpo celeste em particular – a nossa Terra. Daí decorrem não só todas as novidades tecnológicas nascidas da Era Espacial, sem as quais hoje nossa vida seria muito diferente, mas também todo o conhecimento acumulado sobre os males que estamos causando em nosso próprio mundo (como o aquecimento global, as extinções maciças de espécies provocadas pelos desmatamentos e a destruição da camada de ozônio na atmosfera). Desnecessário dizer que aí também estão as chaves para evitar toda essa destruição.

Mas a melhor qualidade do espaço, para alunos, professores e entusiastas, talvez seja a de que ele é infinito. Em consequência, sua prospecção produz uma infinitude de possibilidades. Destinamos, por isso, o último capítulo a uma narrativa do que o futuro nos aguarda no campo da astronáutica. E tem muita coisa boa vindo aí, que será construída pelos jovens de hoje, inspirados pelo que estamos dizendo a eles neste exato instante.

Por isso inspirar a juventude é tão fundamental. Desse modo, estaremos não só promovendo o desenvolvimento científico e tecnológico de nossa própria nação, mas sobretudo cultivando a deliciosa curiosidade que é inata ao ser humano e fornecendo os meios para que ela se manifeste de maneira saudável e produtiva, garantindo assim a proteção de nosso maior legado: a capacidade de compreender e manipular a natureza.

Vamos?



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola), 2008.

capítulo 4

RUMO AO ESPAÇO

Salvador Nogueira e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Exceção feita a Urano e Netuno, os demais planetas do Sistema Solar eram conhecidos desde que o ser humano apareceu na face da Terra. Conseqüentemente, o desejo humano de voar como os pássaros e, com isso, abrir as portas para conhecer outros mundos fora da Terra é antigo.

As descobertas de Galileu, Kepler e Newton, na segunda metade do último milênio, somente aguçaram esse sonho. Antes que outros gênios os sucedessem e criassem os meios necessários à realização da empreitada, coube à literatura concretizar a missão, por meio do gênero conhecido como **ficção científica**.

Esse estilo literário em que normalmente se encaixam as narrativas de viagens espaciais costuma ser identificado como um fenômeno do século 20. Não sem razão; a maioria dos ícones populares da modalidade surgiu nessa época: Arthur C. Clarke (1917-2008), Ray Bradbury (1920-), Isaac Asimov, (1920-1992) Edgar Rice Burroughs (1875-1950), Harlan Ellison (1934-), Gene Roddenberry (1921-1991) e tantos outros que povoaram a imaginação da humanidade com suas criações, em livros e nas mídias então emergentes – sobretudo no cinema e na televisão. Mas limitar nossos sonhos de vôo espacial ao século 20 seria um equívoco grosseiro. Na verdade, a expectativa de viagens além da Terra nos acompanha pelo menos desde a Idade Antiga.

A primeira referência possivelmente é o mito grego de Dédalo e Ícaro, pai e filho que teriam fugido do labirinto da ilha grega de Creta (o mesmo que abrigava o mítico minotauro) ao desenvolverem para si mesmos pares de asas. Dédalo atravessou o mar Egeu



Ficção científica: é o gênero literário em que se enquadram as histórias com base num Universo consistente inspirado pelas possibilidades e limitações impostas pelo conhecimento científico. Normalmente, mas não necessariamente, esses enredos envolvem narrativas futuristas.

Arthur C. Clarke *(1917-2008) é mais famoso por ter escrito o livro e o roteiro do filme "2001: Uma Odisséia no Espaço".*

Ray Bradbury *(1920-) é conhecido pelos livros "Fahrenheit 451" e "As crônicas marcianas".*

Isaac Asimov *(1920-1992) é autor da mais pródiga antologia de contos sobre robôs e criador das famosas "Três leis da robótica".*

Edgar Rice Burroughs *(1875-1950) escreveu vários romances ambientados em Marte, mas ficou mais famoso ao criar o personagem "Tarzan".*

Harlan Ellison *(1934-) é um famoso e controverso escritor de ficção científica literária e televisiva.*

Gene Roddenberry *(1921-1991) é o criador da série de televisão "Jornada nas Estrelas" (*Star Trek*).*

e pousou no solo em segurança. Já Ícaro acabou seduzido pela curiosidade; ao voar, decidiu tentar alcançar o Sol. Ao se aproximar do astro-rei, a cera que colava as penas de suas asas começou a derreter e os artefatos se desmancharam, levando o intrépido aeronauta a despencar dos céus e encontrar seu fim no mar.

Obviamente, esse mito era apenas uma alegoria – quem quer que o tenha criado, não tinha em mente discutir viagens espaciais, mas sim enfatizar o espírito curioso, audaz e às vezes inconseqüente que o ser humano abriga dentro de si. Outros escritos da Antiguidade seguiram nessa mesma linha, usando o que seriam precursoras conceituais das viagens espaciais como formas metafóricas de discutir a condição humana.

Exemplo célebre desse tipo de narrativa é a obra *Verae historiae* [Histórias verdadeiras], escrita por Luciano de Samósata (125-181) (Samósata é uma cidade da Síria), no século 2. O autor conta ali a trajetória de uma tripulação que, ao enfrentar uma fortíssima tempestade em alto-mar, acaba sendo arremessada, em seu navio, numa jornada de sete dias até a superfície lunar – então descrita como uma grande ilha luminosa. Lá, os navegantes acabam envolvidos num conflito entre os habitantes da Lua e os do Sol. Com o estabelecimento de uma trégua, os aventureiros conseguem voltar à Terra.

Entretanto, a primeira obra que merece ser realmente considerada precursora da ficção científica é o *Somnium*, de Johannes Kepler. Para conseguir seu intento sem despertar a raiva das autoridades, ele "camuflou" suas idéias numa estória.

O pequeno livro conta a história de Duracotus, um rapaz que é expulso de casa por sua mãe Fiolxhilde e vaga pelo mundo até arranjar um trabalho sob a tutela do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe. Após cinco anos de observações com o prestigiado cientista, Duracotus decide voltar para casa. Sua mãe fica feliz em revê-lo, enquanto ele descreve o que aprendeu sobre a Lua e os corpos celestes. Fiolxhilde revela então que já sabia de todas essas coisas, e muitas outras, instruída por um ente benigno, o "demônio da Lavania" – ninguém menos que o espírito da Lua.

Ela diz que a criatura tem o poder de transportá-los até a superfície lunar, oferta que se torna irrecusável para Duracotus. Levados em uma jornada de quatro horas, os dois são recebidos pelo "espírito" e assistem a uma verdadeira aula sobre astronomia e biologia lunares.

Um marco na história da literatura, a narrativa kepleriana abriria o terreno para o surgimento de outros escritores dispostos a produzir "ficção científica" de verdade. Vários seguiram essa trilha, até chegarmos ao maior ícone do gênero pré-século 20: o celebrado Júlio Verne (1828-1905).

Tido até hoje como o "pai" da ficção científica moderna, Verne descreveu várias revoluções tecnológicas do século 20 com décadas de antecipação. Submarinos, balões e viagens ao centro da Terra figuram entre os temas por ele abordados, sempre com um enfoque de aventura "científica". Mas, de todas essas histórias, é difícil encontrar maior inspiração premonitória do que em "Da Terra à Lua", de 1865, e sua continuação, "Viagem ao Redor da Lua", de 1870.

*O francês **Júlio** (ou Jules) **Verne** foi autor de várias obras inspiradoras de ficção científica, sempre no clima de celebração da ciência que marcou a segunda metade do século 19. Entre seus livros mais famosos estão "A Volta ao Mundo em 80 Dias", "Da Terra à Lua" e "Viagem ao Centro da Terra".*

Essas duas obras descrevem com incrível exatidão traços que depois seriam espelhados na verdadeira epopéia lunar. Para começar, Verne aposta nos Estados Unidos como o país capaz de empreender o esforço que levaria os primeiros seres humanos à superfície da Lua – uma previsão que, historicamente, se mostrou correta. O escritor francês também percebeu que um projeto dessa magnitude só poderia ser atingido a partir da canalização das pesquisas bélicas para outros propósitos.

A história se passa após a Guerra Civil americana (1861-1865), na qual morreram mais de 600 mil pessoas. Em Baltimore, os membros do chamado Clube do Canhão (entidade que agregava todos os fabricantes e inventores de armamentos dos EUA) andavam cada vez mais entediados com o cessar-fogo e o fim dos conflitos. Na falta de perspectiva de novos combates, seu presidente, Impey Barbicane, decide iniciar um empreendimento que traria de volta o velho ânimo dos afiliados da instituição: seu plano era enviar um projétil até a Lua, usando o maior canhão já construído.

Os intrépidos cientistas bélicos começam então a estabelecer os parâmetros para a construção desse artefato capaz de disparar um projétil, grande o suficiente para ser avistado por telescópios, até a superfície lunar. Consultando os astrônomos do Observatório de Cambridge, constatam que seu canhão precisaria ter quase 300 metros de comprimento. O projétil, para ser grande e ainda assim leve, deveria ser oco e composto majoritariamente por alumínio. Os cientistas consultados apontaram que a ocasião ideal para o lançamento ocorreria em 1º de dezembro de 1866, e a equipe do Clube do Canhão começa a trabalhar freneticamente para construir os sistemas requeridos.

Em meio aos trabalhos, surge um aventureiro francês, de nome Michel Ardan [Miguel, como foi adaptado na tradução para o Português], que propõe a Barbicane a troca do projétil original por um outro, de sua criação. O objetivo é mandá-lo pessoalmente na viagem, no interior do projétil. A proposta é recebida com entusiasmo, e Ardan se torna um herói nacional. O único a se opor é o capitão Nicholl [Nícoles], um velho desafeto de Barbicane. Pouco antes do lançamento, os dois cientistas bélicos quase entram num duelo mortal, mas Ardan consegue apaziguá-los e convencê-los a viajar com ele no projétil. Retro-foguetes seriam utilizados, como forma de fazer o projétil alunissar suavemente ao solo lunar, onde, diga-se de passagem, os intrépidos terráqueos pretendiam estabelecer uma colônia e lá ficar para sempre.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.1. Ilustração original de "Da Terra à Lua", de Júlio Verne (1865).

Na data planejada, o trio parte a bordo da cápsula, que é disparada pelo gigantesco canhão Columbiad, instalado na Flórida, por sua posição geográfica favorável. O projétil acaba sendo desviado da trajetória original por um asteróide e não atinge a

superfície lunar. Em vez disso, é colocado num vôo circunlunar, retornando à Terra alguns dias depois, fazendo um "pouso" nas águas do oceano Pacífico. Os três heróis são resgatados e a história do primeiro vôo até a Lua se torna um *best-seller*.

A quantidade de similaridades entre a narrativa lunar de Verne e o **Projeto Apollo** (1967-1972), da National Aeronautics and Space Administration (Nasa) [Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço], conduzido quase exatamente cem anos depois, é assustadora.

Seria preciso quase um século para que a ficção científica se tornasse fato científico.



Projeto Apollo: foi o grande esforço conduzido pelos americanos para enviar astronautas à superfície lunar até o final da década de 1960. Os trabalhos foram iniciados por determinação do presidente John F. Kennedy (1917-1963), em 1961 e o objetivo era o de estabelecer, em menos de dez anos, uma supremacia americana sobre os soviéticos na corrida espacial.

PENSANDO EM FOGUETES

Em 1892, o brasileiro Alberto Santos Dumont (1873-1932) visitou a França, aos 17 anos. No ano seguinte, decidiu mudar-se para Paris. Chegou a retornar ao Brasil por curto período e, em 1897, estabeleceu-se em definitivo na capital francesa com o propósito de se tornar aeronauta. Vários especialistas dão a Alberto Santos Dumont o crédito de ter sido a primeira pessoa a realizar um vôo numa aeronave mais pesada do que o ar por meios próprios, dado que o Flyer dos irmãos Wright, embora voasse pelos próprios meios desde 1903, originalmente só decolava com o auxílio do vento ou de uma catapulta. Quanto ao nosso compatriota, seu vôo foi testemunhado por centenas de pessoas em Paris. Era 23 de outubro de 1906 e o 14-Bis desafiava a lei da gravidade executando um vôo nivelado de 60 metros, entre dois e três metros acima da superfície da Terra.

Enquanto os irmãos Wright, Santos Dumont e vários outros pioneiros desafiavam a gravidade, o russo Kostantin Tsiolkovsky (1857-1935), outro fã de Verne, desenvolveu a teoria de que os foguetes poderiam chegar ao espaço.

No entanto, a história dos foguetes é bem mais antiga. Em 1232, a China estava em guerra contra os invasores mongóis, razão,



U.S. Centennial of Flight Commission. www.centennialofflight.gov/

Figura 4.2. Ilustração mostra antigo modelo de foguete chinês, do século 13.

aliás, para o início da construção da Muralha da China. Reza a história que, na famosa batalha de Kai-Keng, o exército chinês bloqueou o avanço das forças de invasão com o uso de "flechas de fogo voador". Eram os primeiros foguetes de verdade. Não é surpreendente que eles tenham surgido entre os chineses. Afinal, eles foram os primeiros a desenvolver a pólvora. Inventaram também a bússola.

Embora o funcionamento dos antigos foguetes de guerra chineses e dos veículos espaciais modernos seja em princípio similar, há uma gigantesca distância entre os primeiros e os últimos. E esse trajeto só começou a ser percorrido quando Tsiolkovsky entrou no jogo, no início do século 20.



Escarlatina: doença que afeta principalmente crianças e hoje, ao ser tratada com antibióticos, não é tida como perigosa. Ela é causada por uma bactéria chamada *Streptococcus pyogenes*.

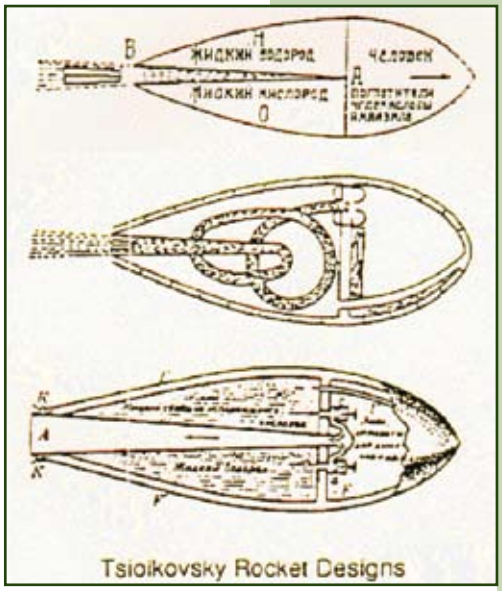
Tsiolkovsky nasceu na pequena vila de Ijevskoe, a 900 quilômetros de Moscou. Aos dez anos de idade, após uma crise de **escarlatina**, perdeu quase completamente a audição. Freqüentar a escola já não foi mais possível. Em vez de se resignar, o rapaz devorou todos os livros que seu pai tinha em casa. E a aeronáutica desde cedo o cativou. Quando deixou sua casa e foi viver em Moscou, em 1873, sua capacidade de aprender e criar atingiu níveis assustadores. A modesta coleção de livros do pai foi trocada pelas grandes bibliotecas moscovitas, e logo Tsiolkovsky provou estar adiante de seu tempo. Com incrível capacidade de abstração para problemas teóricos de física e química, ele se tornou um eminente membro da comunidade científica russa, mesmo sem nenhuma formação acadêmica.



Ninfinger Productions: Scale Models. www.ninfinger.org/

Figura 4.3. Konstantin Tsiolkovsky.

Na aurora do século 20, ele já especulava sobre o potencial de hidrogênio e oxigênio líquidos como combustíveis para foguetes (hoje uma tecnologia amplamente empregada pelos foguetes modernos), descrevia a sensação de ausência de peso para seres humanos em órbita, propunha naves que permitissem a saída de tripulantes em pleno espaço, envolvidos por trajes pressurizados, especulava sobre uma viagem a Marte, sugeria o uso de giroscópios para o controle de atitude (a orientação que uma nave assume no espaço) e calculava a velocidade necessária para que um foguete vencesse a atração gravitacional da Terra o suficiente para entrar em órbita (cerca de 8 km/s).



University of Oregon, Department of Physics. www.uoregon.edu/

Figura 4.4. Foguetes projetados por Tsiolkovsky.

Seus feitos extraordinários no campo teórico estavam pelo menos 50 anos à frente da tecnologia exigida para torná-los realidade. O desenho do meio da Figura 4.4, por exemplo, mostra um ser humano deitado no topo do foguete. Tsiolkovsky é hoje tido como o pai da astronáutica (ciência da navegação pelo espaço), por ter traçado de forma tão clara o caminho a perseguir, mesmo sem ter realizado um experimento sequer.

Claro, a ausência de experimentos deixou para futuros pesquisadores o fardo de comprovar a praticidade de todas as idéias sugeridas pelo teórico russo. E um dos que assumiram esse fardo com mais entusiasmo, a despeito de todo o ceticismo ao seu redor, foi o americano Robert Hutchin Goddard (1882-1945).

Desde cedo, Goddard adquiriu interesse pelos avanços da ciência, com todo o furor da introdução da eletricidade no cotidiano das grandes cidades. Logo sua atenção migrou para o campo nascente da astronáutica. Goddard tinha o hábito de anotar e registrar todas as suas atividades, o que permitiu determinar exatamente

***Herbert George Wells** (1866-1946) foi um prolífico escritor de ficção científica britânico. Entre suas grandes obras estão "A Máquina do Tempo" e "A Guerra dos Mundos".*

o dia em que ele cismou de trabalhar com foguetes: 19 de outubro de 1899. Influenciado pela obra de ficção de H.G. Wells "A Guerra dos Mundos" e pelas observações do astrônomo Percival Lowell (1855-1916), que imaginara a existência de uma civilização marciana, Goddard, desde cedo, sonhou com uma viagem a Marte. Para alcançar esse objetivo, ele se formou em física em 1908 e no ano seguinte já estava imaginando a primeira grande inovação no campo – o uso de combustível líquido.

Apesar do pouco respeito que tinha nos círculos científicos e fora deles, o americano continuou trabalhando no assunto até 1919, quando publicou seu trabalho mais importante: *A method of reaching extreme altitudes* [Um método para atingir altitudes extremas].

Na obra, Goddard detalha suas pesquisas com combustíveis sólidos e líquidos e suas equações matemáticas descrevendo o vôo dos foguetes, bem como estabelece até mesmo a eventual viabilidade de que um foguete seja o meio de transporte adequado para um vôo até a Lua – a resposta ao problema de Júlio Verne!



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.5. Robert Goddard posa para foto ao lado de um de seus primeiros foguetes.

Em que pese o ceticismo reinante, o pesquisador seguiu experimentando. Lançou seu primeiro foguete de combustível líquido em 16 de março de 1926. O veículo subiu somente 12,5 metros, em 2,5 segundos – mas era já uma prova de princípio da tecnologia de propulsão líquida para foguetes.

Goddard faleceu em 1945 sem ver seu sonho concretizado. Deixou 214 dos seus inventos patenteados. Caberia a um gênio alemão tornar realidade a visão de Kepler, as teorias de Tsiolkovsky e o sonho de Goddard. Seu nome: Wernher Magnus Maximilian von Braun (1912-1977).

O interesse por foguetes já era ativo entre os alemães bem antes de Adolf Hitler (1889-1945) resolver tentar conquistar o mundo. Ainda garoto, von Braun participou da "Sociedade para Vôo Espacial". Desde 1927, fazia experimentos com propulsão líquida, por uma razão óbvia – após a Primeira Guerra Mundial, a Alemanha foi proibida de experimentar com foguetes de propelente sólido (uma espécie de pólvora *high-tech* que serve como combustível para a ação do motor), que já estavam consolidados como armas de guerra. Mas, com a ascensão do governo nazista, experimentos civis foram proibidos e a Sociedade foi dissolvida. Quem quisesse trabalhar com foguetes deveria seguir a via militar. Foi o que fez von Braun.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.6. Wernher von Braun, já nos Estados Unidos, segura modelo do foguete V-2.

E não há dúvida de que o conhecimento acumulado por Goddard ajudou o alemão a desenvolver, no complexo militar instalado na pequena cidade de Peenemünde, o foguete que o tornaria mais famoso: o V-2. Foi com ele que, em 1944, já no fim da Segunda Guerra Mundial, os alemães conseguiram atacar a Inglaterra, realizando vários bombardeios sobre Londres. Ao fim do conflito, diversos foguetes não-lançados foram apreendidos, e Goddard, desconsolado, identificou neles vários elementos que ele mesmo havia desenvolvido. O cientista de foguetes americano morreria meses depois.

O conhecimento, entretanto, acabaria repatriado pelos Estados Unidos após a guerra, quando Hermann Oberth (1894-1989), von Braun e vários outros especialistas de



American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). http://www.nso.it/history/oberth/award.jpg

Figura 4.7. Hermann Oberth e Wernher von Braun, em 1961, nos EUA.



Arikah. www.arikah.net/

Figura 4.8. Sergei Korolev.

foguetes alemães foram levados à América para trabalhar para o Exército americano.

Com o fim da guerra, a União Soviética ficou igualmente interessada no assunto e também capturou diversos especialistas alemães, que ajudaram a nação comunista a desenvolver seus próprios foguetes. Os trabalhos de Tsiolkovsky são trazidos de volta à luz, após anos de esquecimento, e surge entre os russos a figura que melhor representa a nova era que estava prestes a se anunciar: Sergei Pavlovich Korolev (1907-1966).

Nascido em Zythomyr, então parte do Império Russo, hoje Ucrânia, Korolev (pronuncia-se "Karaliov") começou seu interesse por engenharia no campo da aviação. Chegou a projetar vários desenhos de planadores e aeronaves até lançar seu primeiro foguete, em 1933, já com sonhos de missões espaciais.

Em 1938, foi injustamente preso pelo governo soviético e enviado a um *gulag* (campo de trabalhos forçados) na Sibéria. Sobreviveu ao encarceramento, embora tenha perdido todos os dentes e a boa saúde. Foi libertado quando as lideranças comunistas começaram a perceber a utilidade de foguetes como mísseis. Korolev inspecionou pessoalmente, na Alemanha, os materiais confiscados pelo Exército Vermelho sobre os V-2 de von Braun, e trabalhou com vários pesquisadores alemães capturados para estabelecer a liderança russa nessa tecnologia.

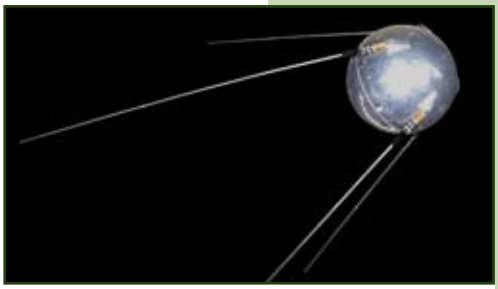


Roskosmos. U.S. Department of Energy, Office of the Chief Financial Officer. www.cfo.doe.gov/

Figura 4.9. O R-7, primeiro lançador de satélites do mundo.

Seu primeiro projeto de foguete após a libertação foi uma reconstrução fiel do V-2, em 1947. O chamado R-1 acabou funcionando com o mesmo nível de confiabilidade obtido por von Braun, e logo Korolev estava desenvolvendo outro modelo. Seu enfoque de trabalho eram

os mísseis de longo alcance, capazes de levar artefatos nucleares a qualquer ponto do mundo ocidental. Caberia a ele, portanto, a tarefa de conceber o primeiro foguete capaz de realmente colocar um artefato em órbita ao redor da Terra.



Danton Villas Bôas (IAE/CTA).

Figura 4.10. Réplica do Sputnik 1 em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB).

Aconteceu com o R-7. Após várias tentativas fracassadas de lançamento, o primeiro desses foguetes de grande porte a realizar sua missão a contento partiu da base de Baikonur (localizada no Cazaquistão, uma ex-república soviética) em agosto de 1957. Menos de dois meses depois, em 4 de outubro de 1957, os soviéticos usariam um foguete do mesmo modelo para lançar com sucesso o primeiro **satélite artificial** da Terra, o Sputnik 1. Com esse evento eletrizante, começava a chamada Era Espacial.



Satélite artificial: todo e qualquer objeto colocado em órbita de um corpo celeste, incluindo a Terra, por ação de uma civilização espacial.

CORRIDA PELA SUPREMACIA MUNDIAL

Entre 1957 e 1958, ocorreu o chamado Ano Geofísico Internacional – um grande evento temático que se propôs a reunir cientistas de todas as partes do mundo em atividades voltadas para o estudo da Terra. Quando os americanos especularam sobre a possibilidade de lançar um satélite artificial, surgiu a desculpa perfeita para Sergei Korolev voltar suas atividades para a exploração espacial: embora o R-7 fosse originalmente um míssil balístico intercontinental, seus potenciais usos desde o início incluíam o lançamento de satélites em órbita. Com o anúncio público dos americanos, Korolev conseguiu autorização do Partido Comunista soviético para perseguir a meta de lançar um satélite artificial antes dos Estados Unidos. Ironicamente, a despeito da promessa, poucos recursos estavam sendo devotados pelos americanos para de fato realizar este feito.

Tudo foi resolvido muito rapidamente e o lançamento do Sputnik 1 veio como uma surpresa. O primeiro satélite artificial terrestre se

resumia a uma esfera com quatro antenas de rádio, que transmitia um sinal na forma de bipes. Com cerca de 50 cm de diâmetro e pesando 80 quilogramas, o efeito psicológico do lançamento foi avassalador. Mas não na União Soviética.

Lá, no dia após o lançamento, ou seja, 5 de outubro de 1957, o jornal russo Pravda deu a notícia no pé da primeira página, com pouco destaque. Mesmo o governo soviético não estava ligando muito para o sucesso. O líder comunista Nikita Khruschev (1894-1971), sucessor de Stalin (1878-1953), relembrou o episódio da seguinte maneira:

> Quando o satélite foi lançado, eles me telefonaram dizendo que o foguete tinha tomado o curso correto e que o satélite já estava girando em torno da Terra. Eu parabenizei o grupo inteiro de engenheiros e técnicos nesse feito impressionante e calmamente fui para a cama.

O furor aconteceu mesmo no Ocidente. Nos Estados Unidos, o jornal The New York Times julgou o fato merecedor de uma manchete de três linhas na primeira página:

> Soviéticos disparam satélite terrestre para o espaço;
> Está circulando o globo a 18 mil milhas por hora;
> Esfera é rastreada em quatro passagens sobre os EUA.


The New York Times.

LATE CITY EDITION

SOVIET FIRES EARTH SATELLITE INTO SPACE; IT IS CIRCLING THE GLOBE AT 18,000 M. P. H.; SPHERE TRACKED IN 4 CROSSINGS OVER U. S.

HOFFA IS ELECTED TEAMSTERS HEAD; WARNS OF BATTLE

COURSE RECORDED

Navy Picks Up Radio Signals—4 Report Sighting Device

560 MILES HIGH

Visible With Simple Binoculars, Moscow Statement Says

Device Is 8 Times Heavier Than One Planned by U.S.

RADIUS CUMFARES HIS STAND TO LEE'S

ARGENTINA TAKES EMERGENCY STEPS

SATELLITE SIGNAL BROADCAST HERE

Figura 4.11. Primeira página do "The New York Times" após o lançamento do Sputnik 1.

Ao ver a reação dos adversários, os soviéticos perceberam o poder de propaganda que a exploração espacial poderia desempenhar. Khruschev imediatamente instruiu Korolev a preparar um novo lançamento. Em 3 de novembro de 1957, era lançado ao espaço o Sputnik 2, que levava no seu interior a cachorrinha Laika – o primeiro animal a deixar a Terra. Com a pressa de impressionar, os russos não se preocuparam em desenvolver uma forma de trazer Laika de volta após a viagem; ela seria sacrificada no espaço. Ainda assim, o feito era impressionante. Em dois meses, a União Soviética havia lançado dois satélites, e um deles transportava um cão!

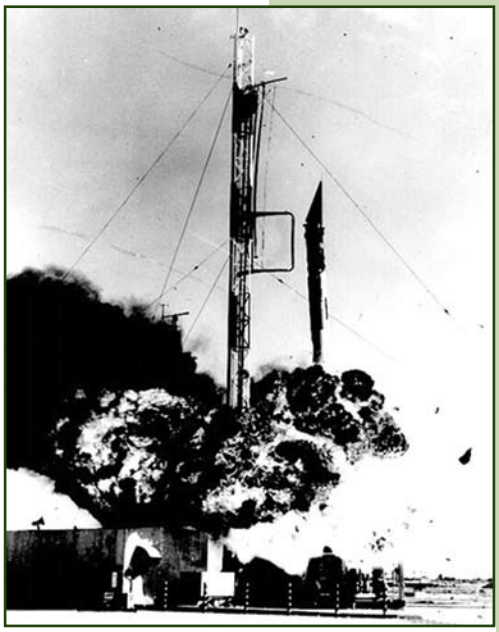
University of Maryland / University Honors Program. www.honors.umd.edu/

Entre os militares americanos, o sucesso soviético não veio como surpresa total. Mas para o público a reação foi de choque, o que obrigou o governo dos Estados Unidos a acelerar sua própria corrida rumo ao espaço.

O projeto então em andamento para o lançamento do satélite, chamado Vanguard [Vanguarda] e desenvolvido pela Marinha, foi acelerado, o que levou a uma tentativa prematura de lançamento em 6 de dezembro de 1957. Diante das câmeras de televisão do mundo todo, o foguete americano levaria ao espaço um "satélite" de massa ridiculamente pequena, mesmo se comparado ao também pequeno Sputnik 1. Mas o lançador subiu por apenas dois segundos antes de despencar e explodir a plataforma de lançamento, num acidente espetacular – e embaraçoso.

Foi quando o presidente dos Estados Unidos Dwight Eisenhower (1890-1969) se voltou para Wernher von Braun e sua equipe. O alemão já estava desenvolvendo, paralelamente ao Vanguard, seu próprio projeto de foguete lançador de satélites, chamado Jupiter-C – ele era uma versão do míssil Redstone, que por sua vez era um descendente direto do velho V-2.

Então, em 31 de janeiro de 1958, com um lançamento feito a partir do Cabo Canaveral, na Flórida, o Explorer 1, primeiro satélite americano, chegava à órbita com sucesso.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.12. Tentativa malograda de lançar satélite americano em 1957.



Nasa. Publicada no sítio da *U.S. Centennial of Flight Commission*. www.centennialofflight.gov/

Figura 4.13. Lançamento bem-sucedido do Explorer 1, em 31 de janeiro de 1958.

Guerra Fria foi o continuado conflito dissimulado entre americanos e soviéticos iniciado após a Segunda Guerra Mundial. Ele não envolvia combate direto entre as duas superpotências; em vez disso, os dois lados manipulavam outras nações numa disputa bipolarizada pela supremacia mundial. A Guerra Fria só terminou com o fim da União Soviética, no início dos anos 1990.



Era um pequeno dispositivo com apenas 14 quilogramas, mas colocava os Estados Unidos na corrida espacial.

O mundo inteiro acompanhava com grande interesse (e muitas vezes preocupação) esta corrida. Embora fosse mascarada como o sonho humano de atingir as estrelas, todos sabiam que na verdade se tratava de uma disputa para mostrar qual das duas superpotências – e qual sistema político-econômico – tinha o desenvolvimento científico e bélico mais pujante. Era a Guerra Fria alimentando a Corrida Espacial. E, no início, os soviéticos abriram uma enorme dianteira.

Korolev, encorajado pelos sucessos iniciais, conseguiu convencer seu governo a perseguir um programa tripulado.

***Yuri Gagarin** (1934-1968) foi o primeiro homem a atingir o espaço, em 12 de abril de 1961. Filho de uma família humilde e com formação de piloto militar de aviões, tinha o perfil ideal para ser convertido em herói mundial pelo governo comunista da União Soviética.*

Em 12 de abril de 1961, o sonho se tornava realidade, com a viagem de Yuri Gagarin (1934-1968) à órbita terrestre. Ele deu apenas uma volta ao redor da Terra, percurso coberto em 108 minutos, e retornou ao ponto de partida.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.14. Yuri Gagarin, primeiro viajante espacial da história, em seu traje de vôo.

A nave que levou o primeiro cosmonauta (modo como os russos chamam seus astronautas) da história, a Vostok 1, era totalmente automatizada. A Gagarin coube apenas o papel de assistir sentado ao espetáculo e contar a novidade à equipe de controle: "A Terra é azul".

A essa altura, os soviéticos já haviam desenvolvido tecnologias para que a cápsula fizesse a reentrada na atmosfera e sobrevivesse a esse processo violento, mas ainda não havia meio de realizar

um pouso suave – Gagarin teve de ser ejetado da Vostok 1 quando a cápsula estava a cerca de quatro quilômetros do chão.

A escotilha da nave se abriu, seus cintos de segurança foram automaticamente arrebentados. Dois segundos depois, Gagarin foi atirado para fora da espaçonave realizando uma descida suave de pára-quedas até o chão.



AeroSpaceGuide's. www.aerospaceguide.net/

Figura 4.15. Modelo da nave Vostok 1, que levou Yuri Gagarin ao espaço.

Após seu retorno, o cosmonauta foi ovacionado mundialmente. Fez viagens pelos quatro cantos do mundo, a convite de vários países, como Finlândia e Inglaterra. Na América, ele passou por Cuba e pelo Brasil, onde esteve no Rio de Janeiro, em São Paulo e em Brasília. Sua estada em terras brasileiras começou no dia 29 de julho de 1961 e terminou em 5 de agosto. No dia 2 de agosto, o presidente Jânio Quadros (1917-1992) condecorou Gagarin com a Ordem do Cruzeiro do Sul e, um dia depois, criou o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Gocnae), funcionando em São José dos Campos, SP. Era o início do Programa Espacial Brasileiro.

A missão de Gagarin também enfatizou, mais uma vez, que os americanos estavam atrás dos soviéticos na corrida espacial. O presidente dos Estados Unidos, John F. Kennedy (1917-1963), não gostava nada desta situação. Em reunião com as lideranças da nova agência espacial americana, Nasa, perguntou qual projeto poderia colocar, a médio prazo, os ianques à frente dos soviéticos. A resposta era propor uma missão tripulada à Lua. Em 25 de maio de 1961, Kennedy, diante do Congresso Americano, profetiza:

> Penso que esta nação deve empenhar-se para que o objetivo de pousar um homem na Lua e trazê-lo de volta à Terra a salvo seja atingido antes do fim desta década. Nenhum outro projeto será mais importante para a humanidade, mais difícil ou mais caro de ser alcançado. (Disponível em: http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/moondec.html/. Acesso em: 29 jan. 2009.)

Entre 1961 e 1969, russos e americanos empreenderam uma fantástica corrida pela Lua. Os americanos dividiram seu plano lunar em três etapas: Programa Mercury (1961-1963); Programa Gemini (1965-1966); e Programa Apollo (1967-1972). Com o Programa Mercury, os americanos repetiram o feito soviético e colocaram John Glenn (1921-) em órbita da Terra, em 20 de fevereiro de 1962.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.16. O russo Alexei Leonov faz a primeira caminhada espacial da história, em 1965.

Posteriormente, com as Gemini, os americanos aprenderam o verdadeiro significado das leis de Newton e conseguiram efetuar o acoplamento de duas espaçonaves movendo-se a 28.000 km/h cada. Realizaram também a primeira atividade extraveicular americana, conhecida pela sigla em inglês EVA. Nela, Ed White (1930-1967) deixa a cápsula e enfrenta o ambiente espacial. Mas a primeira "caminhada espacial" foi feita pelos russos, em 1965, quando Alexei Leonov (1934-) passou alguns minutos fora de sua nave, a Voskhod 2.



Wikipedia. www.wikipedia.org/

Figura 4.17. O Saturno V, foguete americano para a ida à Lua.

Findo o Programa Gemini, os americanos, capitaneados por von Braun, tinham desenvolvido o Saturno V, capaz de atingir a estonteante velocidade de 40.000 km/h e permitir, portanto, a viagem de uma tripulação em direção à Lua. O Saturno V permanece até hoje como o maior e mais possante foguete construído pelo ser humano. Com 110 metros de comprimento, 10 metros de diâmetro e pesando 3 milhões de quilogramas (equivalente ao peso de 3.000 automóveis), o Saturno V consumia cerca de 13 toneladas de combustível a cada segundo. Uma maravilha tecnológica, mesmo para os padrões tecnológicos da atualidade.

Os russos também mantiveram um ritmo acelerado, com dezenas de lançamentos. Em 3 de agosto de 1964, o Partido Comunista havia autorizado o esforço para a realização de vôos circunlunares (em volta da Lua) e, finalmente, uma alunissagem (pouso lunar). Conhecido pela estranha sigla "N-1/L-3", o programa previa a construção de três veículos. Em janeiro de 1966, antes que qualquer uma dessas naves pudesse sair do chão, Korolev morre – segundo as fontes oficiais, vitimado por um câncer, após uma cirurgia fracassada. Sem sua mais forte liderança, o projeto começa a perder o rumo e não consegue realizar sequer um vôo bem-sucedido. O primeiro teste só pôde ocorrer em 20 de fevereiro de 1969 e terminou rapidamente, com um defeito no primeiro estágio do foguete. Outros três testes foram realizados (3 de julho de 1969, 27 de junho de 1971 e 23 de novembro de 1972), todos com falhas, também no primeiro estágio. O quinto e o sexto testes foram agendados para 1974, mas acabaram adiados. O programa foi cancelado em 1976.



Figura 4.18. O N-1, foguete russo para a ida à Lua.

Aerospaceweb. http://www.aerospaceweb.org/

Enquanto isso, os americanos continuavam no caminho certo para a Lua. O esquema da missão era simples. Um foguete Saturno V (obra-prima de Wernher von Braun) levava até a órbita terrestre um conjunto de três módulos, um de serviço, um de comando e um lunar. O primeiro serviria para abrigar os sistemas de suporte e manobra do veículo que entraria em órbita da Lua, além dos propulsores que trariam a nave de volta depois da viagem ao satélite natural da Terra. O segundo era o local de habitação dos astronautas durante todo o percurso. O terceiro servia para o pouso na Lua. Três astronautas fariam a viagem, dos quais um ficaria a bordo do módulo de comando numa órbita lunar, enquanto os dois outros iriam à superfície. O trajeto de cerca de 384 mil quilômetros



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.19. Edwin Aldrin na superfície da Lua, fotografado por Neil Armstrong.

exigia três dias e meio na ida e outros três dias e meio na volta.

Lançada 24 anos após o primeiro teste de uma bomba nuclear, 16 de julho de 1969, a Apollo 11 também marcaria, para sempre, a história da humanidade. No dia 20 de julho, às 21h56, horário de Houston, EUA, 23h56 no horário brasileiro, Neil Armstrong (1930-) colocou o seu pé no solo lunar. Os satélites de comunicação já existiam e cerca de um bilhão de terráqueos puderam assistir ao evento do século. Ao pisar no solo lunar, Armstrong proferiu a sua célebre frase: "Um pequeno passo para um homem, um salto gigantesco para a humanidade."

Coincidentemente, 20 de julho é o dia de nascimento de Santos Dumont. Se fosse vivo, ele completaria naquela data 98 anos.

Depois de 21 horas na superfície (mas apenas duas horas e meia do lado de fora da nave), Neil Armstrong e Edwin Aldrin (1930-) voltam a encontrar Michael Collins (1930-) a bordo do módulo de comando Columbia, cujo nome era uma homenagem ao descobridor do Novo Mundo, Cristóvão Colombo (1451-1506). No Mar da Tranqüilidade, Armstrong e Aldrin deixaram a bandeira americana, um sismógrafo, um refletor de raios laser, uma antena de comunicações, uma câmera de TV e a base do módulo lunar, em cuja superfície estava afixada uma placa onde se lia:

Aqui homens do planeta Terra pela primeira vez colocaram os pés na Lua

Julho de 1969, d.C.

Viemos em paz por toda a humanidade.

Assinavam a placa Neil Armstrong, Michael Collins, Buzz Aldrin e Richard Nixon (1913-1994), então presidente dos Estados Unidos.

Os três chegaram à Terra no dia 24 de julho, trazendo várias rochas lunares.

A chegada do homem à Lua mostrou as enormes possibilidades do ser humano e uma visão otimista da tecnologia.

E os russos? Bem, a corrida foi disputada cabeça a cabeça. Três dias antes do lançamento da Apollo 11, os russos lançaram a Luna 15, uma nave não-tripulada cujo objetivo era atingir a superfície lunar, coletar amostras do seu solo e trazê-las de volta à Terra, antes que os astronautas da Apollo 11 o fizessem. A Luna 15 jamais regressou; somente em 12 de setembro de 1970 é que os soviéticos lançaram a primeira missão robótica capaz de pousar na Lua, recolher amostras do seu solo e trazê-las de volta à Terra. Àquelas alturas, a Apollo 12 já havia chegado ao satélite natural.

Por anos a fio, os soviéticos negaram ter tido um programa tripulado de ida à Lua. Só quando a Guerra Fria terminou, os detalhes do projeto (assim como suas deficiências) vieram à tona.

No dia 7 de dezembro de 1972, a Apollo 17 parte na última missão do programa. O vôo marcou a primeira visita de um cientista, mais especificamente um geólogo, Harrison Schmitt (1935-), à superfície da Lua. Acompanhado por Eugene Cernan (1934-), ele realizou o último pouso lunar do século 20 a bordo do módulo lunar Challenger, enquanto Ronald Evans (1933-1990) os esperava no módulo de comando América. O retorno ocorreu em 19 de dezembro.

Se americanos e russos tivessem mantido o ritmo de desenvolvimento e investimentos da época da corrida espacial, é quase certo que o ser humano já teria pousado em Marte. Entretanto, os elevados custos dessas missões levaram ao arrefecimento dos ânimos, de ambos os lados. A partir de então, os russos caminharam em direção ao desenvolvimento de estações espaciais,



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.20. A estação espacial russa Mir.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.21. Primeiro lançamento do ônibus espacial Columbia, em 12 de abril de 1981.

da qual a Mir [que significa paz em russo] foi a grande vedete. Ela ficou em órbita de 1986 a 2001.

Os americanos, por outro lado, partiram para o desenvolvimento dos ônibus espaciais e, numa homenagem ao vôo de Gagarin, lançaram o seu primeiro ônibus espacial, o Columbia, em 12 de abril de 1981. A essas alturas esses ex-adversários na corrida espacial tinham realizado algo inimaginável na década anterior. Em julho de 1975, uma nave Soyuz (russa) e uma Apollo, ambas tripuladas, acoplaram-se no espaço. Estavam abertas as portas para a cooperação entre dois ex-inimigos da Guerra Fria.

O maior resultado desses novos tempos é a cooperação envolvendo a construção da Estação Espacial Internacional (ISS) [International Space Station], que, de certa forma, une a experiência dos russos na construção e operação de estações espaciais à experiência americana com os ônibus espaciais, primordiais para a conclusão da ISS. Desenvolvida em parceria por Estados Unidos, Rússia, Canadá, Japão e países europeus, a ISS será o maior e mais espetacular laboratório de pesquisa já construído no espaço. Uma vez concluída, ela terá o tamanho equivalente a um campo de futebol e uma massa de 450 toneladas. Ela orbita a cerca de 350 km da superfície terrestre.

O Brasil chegou a participar da construção da ISS dentro da parte dos Estados Unidos. Sua construção, iniciada em 1998 e ainda em andamento, marca o fim da era de competição no espaço e o início

de uma nova fase. Os investimentos dos diferentes países respondem por cerca de 100 bilhões de dólares – o maior projeto de cooperação internacional da história da humanidade.

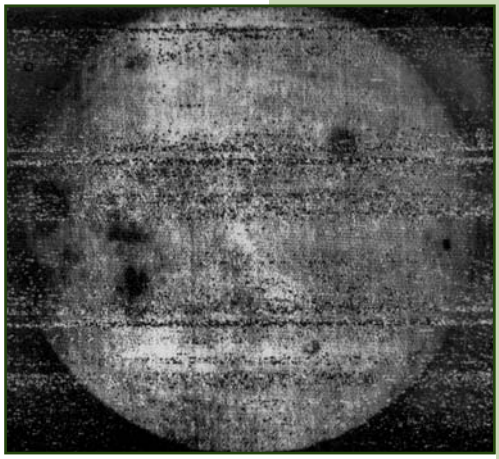
Embora seja um excelente laboratório de pesquisa, a ISS não vai a lugar algum – apenas gira em torno da Terra. Portanto, ela não responde por nossos anseios de exploração. Após a corrida para a Lua, o lado exploratório ficou apenas por conta de sondas automáticas.

ROBÔS NO ESPAÇO

Pegando carona na disputa pela supremacia político-econômica no planeta Terra, cientistas soviéticos e americanos desenvolveram espaçonaves capazes de pesquisar outros planetas do Sistema Solar. Desde então, quase 200 sondas deixaram a Terra com destino aos planetas e luas do nosso sistema planetário. Foi a corrida espacial fomentando a pesquisa espacial.

As primeiras tentativas de enviar espaçonaves não-tripuladas para explorar o espaço ocorreram no final dos anos 1950 e início dos anos 1960. Os alvos iniciais foram primeiro a Lua e, pouco depois, os planetas vizinhos: Vênus e Marte.

Até hoje, o satélite natural da Terra foi o único corpo celeste a passar pelas quatro fases possíveis de excursão não-tripulada. Num primeiro momento, ocorrem os sobrevôos – a sonda apenas faz uma visita rápida, tira umas fotos e toma algumas leituras enquanto passa pelo objeto-alvo. As missões soviéticas Luna foram as primeiras a conduzir esse tipo de esforço, a partir de 1959. De fato, entre o lançamento do Sputnik e o vôo de Gagarin, os russos lançaram a Luna 3, sonda que, em outubro de 1959, fotografou a face da Lua que jamais



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.22. Imagem do lado oculto da Lua, enviada pela sonda soviética Luna 3 em 1959.

é vista pelos terráqueos. Um pouco antes, em 1958, os americanos lançaram o satélite Explorer 1 e, com ele, fizeram a primeira descoberta científica da era espacial: o cinturão de van Allen, do qual falaremos um pouco mais no próximo capítulo.

Num segundo momento, há uma bifurcação. É possível apostar em missões orbitais ou de superfície. Se a exploração é feita da forma mais racional, normalmente as primeiras precedem as segundas, e os dados obtidos a partir da órbita são usados para selecionar os melhores locais de pouso para as missões de superfície. No início dos anos 1960, entretanto, colocar uma sonda em torno de qualquer astro, até mesmo da Terra, era fato inusitado. O resultado acabou se manifestando numa inversão de prioridades. As primeiras sondas americanas enviadas à Lua, por exemplo, foram as Rangers, que se chocavam contra a superfície. Foi com essas missões que começaram a ser realizadas as seleções para os locais das alunissagens tripuladas do Projeto Apollo.

Antes que o primeiro ser humano colocasse os pés sobre a Lua, entretanto, a Nasa decidiu que seria bom desenvolver também sondas não-tripuladas com capacidade de colocação em órbita lunar [*Lunar Orbiters*] e pouso suave [*Surveyors*].

Exploração de Marte

Para cobrir a distância de cerca de 384 mil quilômetros entre a Terra e a Lua, são necessários três dias e meio. Viajando à velocidade da luz, um sinal enviado da Terra demora pouco mais de 1 segundo para chegar à Lua. Além da Lua, o único outro corpo a se aproximar de um estágio que permitiria o envio de humanos é Marte. Entretanto, as dificuldades para o envio de uma missão tripulada a Marte são muito superiores às de uma viagem à Lua. Para começar, a distância média Terra-Marte é de 80 milhões de quilômetros. Somente a viagem de ida ocuparia de oito a nove meses. Nessas condições, uma mensagem entre esses dois planetas demoraria cinco minutos.

Ao chegar a Marte, a tripulação encontraria um ambiente hostil. Na sua atmosfera predomina o dióxido de carbono (CO_2), a uma pressão equivalente a um centésimo da pressão atmosférica terrestre. Exposto a essa baixíssima pressão, o sangue humano ferveria. A variação de temperatura também é enorme: -140ºC a 20ºC, e a gravidade é 40% daquela existente na superfície terrestre. Para completar, não existe ozônio na atmosfera marciana, o que faz com que a radiação ultravioleta proveniente do Sol castigue a superfície daquele mundo. Para que valesse a pena, tal missão demandaria dois anos, mais da metade dos quais consumido com a viagem de ida e volta. Sendo a missão tripulada, não é difícil imaginar as dificuldades de convívio da tripulação por tanto tempo.

É preciso também equacionar a possibilidade de um ou mais membros da tripulação adoecer e necessitar, por exemplo, de uma cirurgia. Enfim, diante dos desafios de uma viagem tripulada a Marte, a ida à Lua é um mero passeio. No presente, o ser humano ainda não conseguiu encontrar respostas a todas a essas questões e, por isso, a viagem tripulada a Marte ainda permanece um sonho distante.

Diante das dificuldades de enviar pessoas a Marte, os cientistas optaram pelo envio de espaçonaves não-tripuladas, o primeiro deles ocorrendo em 1º de novembro de 1962. A soviética Mars 1 estava a caminho do planeta vermelho quando uma falha do sistema de comunicação, a 106 milhões de quilômetros da Terra, condenou a missão ao fracasso.

Nos Estados Unidos, o programa Mariner nasceu com a meta audaciosa de explorar os três planetas, além da Terra, pertencentes ao chamado Sistema Solar Interior – Mercúrio, Vênus e Marte. Com um rápido sobrevôo, realizado em 1965, a Mariner 4 enviou 21 imagens da superfície marciana. Os resultados foram decepcionantes. De perto, Marte era apenas uma esfera



Nasa. www.nasa.gov/

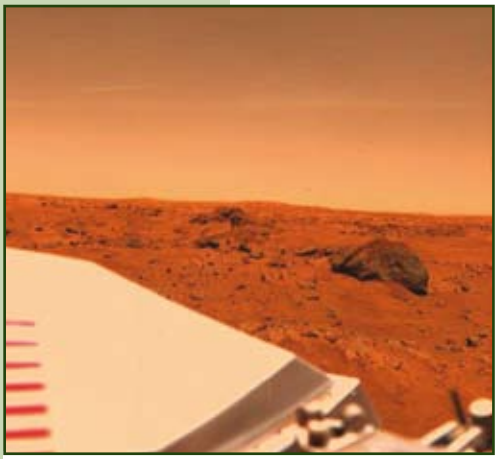
Figura 4.23. Imagem obtida da superfície marciana pela sonda Mariner 4.

esburacada, cheia de crateras e pouco entusiasmante. A atmosfera era tão rarefeita que, na maior parte da superfície, a água não seria estável em estado líquido nem sob condições de temperatura adequadas aqui na Terra.

Em 1971, a americana Mariner 9 tornou-se a primeira espaçonave a orbitar outro planeta. Operou até 27 de outubro de 1972, fazendo o mapeamento da superfície de Marte, com o envio de 7.329 imagens à Terra. As imagens também mostraram grandes vales de rios, dando a entender que um dia água líquida teria percorrido aquelas áreas em grande quantidade. Ao que parece, Marte já foi muito mais interessante do que é hoje, e em seu interior devem estar escondidos vários traços de seu passado.

Ao custo de 3 bilhões de dólares, os americanos produziram duas sondas sofisticadíssimas em 1975. Idênticas em configuração, ambas eram compostas por dois módulos, um orbital e um de pouso. A Viking 1 partiu em 20 de agosto de 1975, seguida rapidamente pela Viking 2, em 9 de setembro. Seus instrumentos iriam fazer uma imensa varredura da superfície assim que chegassem à órbita marciana, o que aconteceu em meados de 1976.

Nos primeiros dias, os módulos orbitais coletaram informações sobre os locais previamente selecionados para os veículos de descida, constatando que na verdade seria arriscado tentar um pouso ali. Algumas semanas foram consumidas na escolha de novos alvos.

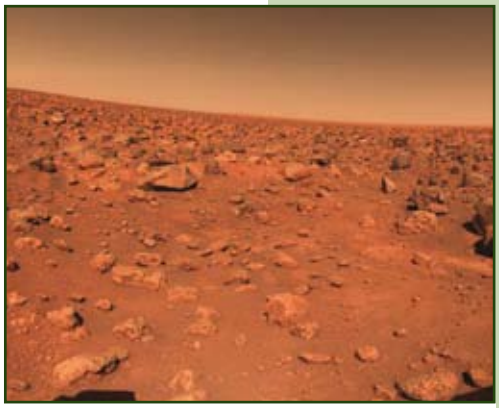


Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.24. Cenário observado pela sonda Viking 1, em Marte.

Em 20 de julho de 1976, após uma viagem de quase um ano, na qual percorreu a distância de 100 milhões de quilômetros, a Viking 1 pousou em Marte. Produtos da genialidade humana, as duas Vikings conduziram pousos suaves bem-sucedidos, em duas regiões diferentes do planeta. A primeira pousou em Chryse Planitia. A segunda, em Utopia Planitia.

Logo após a descida, as Vikings enviaram as primeiras fotos tiradas diretamente da superfície marciana. Uma paisagem extremamente familiar – extremamente "terrestre", melhor dizendo, ainda que com um tom alienígena sutil – fascinou os cientistas e o público. Robert Goddard e Tsiolkovsky também teriam ficado felizes por verem os seus sonhos tornando-se realidade.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.25. Visão obtida a partir da Viking 2, em Marte.

Medições precisas da composição e densidade atmosféricas, análises de amostras no solo e mapeamento do planeta em escala global eram algumas das tarefas escaladas para a ambiciosa missão americana. Mas ninguém escondia que o grande objetivo era tentar detectar de maneira direta potenciais formas de vida extraterrestres.

Com três experimentos biológicos servindo como verificadores uns para os outros, os responsáveis pelo projeto da Viking pareciam seguros de que, se houvesse algo vivo nos primeiros centímetros de espessura do solo marciano, isso seria detectado. Após alguma controvérsia, surgiu o consenso de que a Viking não detectou nada vivo no planeta vermelho.

Após esse "balde de água fria", Marte passou alguns anos abandonado. Somente em 1988 alguém resolveu enviar mais artefatos ao planeta. A União Soviética continuava tentando mandar sua primeira sonda realmente útil, e despachou logo duas naquele ano: Fobos 1 e 2, direcionadas ao estudo de Marte e seu satélite maior. A primeira foi perdida no meio do caminho e a segunda, nas proximidades do satélite. Seria o último esforço daquele país direcionado para Marte sob o jugo comunista.

O interesse americano pelo planeta vermelho não cessou. Em dezembro de 1996, partia a Mars Pathfinder [*Pathfinder* significa "localizadora de caminhos"], um módulo de pouso com uma novidade – um pequeno jipe móvel sobre seis rodas, chamado



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.26. Imagem do jipe Sojourner, em Marte.

Sojourner, que daria aos cientistas mobilidade de alguns metros na coleta de dados da superfície marciana. O pouso foi realizado de maneira singular, em 4 de julho de 1997, aniversário da independência americana. Em vez de fazer uso de retrofoguetes para a aproximação final, a nave simplesmente caiu do céu, freada apenas por um pára-quedas. Para evitar virar sucata ao se chocar contra o solo, foi equipada com um sofisticado sistema de *airbags*, uma espécie de bexiga amortecedora semelhante às encontradas em veículos para proteger os passageiros em caso de acidente, que fez com que ela quicasse no chão até atingir um estado de repouso. Só aí as bexigas se esvaziaram e o casulo se abriu, como uma flor, para que o Sojourner pudesse começar suas andanças pelo solo de Marte. Para despertar o Sojourner da longa viagem, foi tocada a música "Coisinha tão Bonitinha do Pai", interpretada por Beth Carvalho. A música foi escolhida pela engenheira Jacqueline Lira, que trabalhava no Laboratório de Propulsão a Jato da Nasa, responsável pelo desenvolvimento da sonda. Outro dado relevante é que o local do pouso foi batizado de Memorial Carl Sagan, em homenagem ao cientista e escritor Carl Sagan (1934-1996).



Sensoriamento remoto: consiste no monitoramento das condições de um dado corpo celeste a partir de um ponto privilegiado fora dele. As observações podem envolver uma série de técnicas, como radar e imageamento, e cobrir vários elementos diferentes, como a cobertura vegetal, a composição geológica, o ciclo hidrológico e a dinâmica atmosférica.

Como o próprio nome sugere, a Pathfinder tinha como objetivo testar tecnologias que poderiam, no futuro, ser úteis na exploração marciana. Primeiro, os engenheiros queriam descobrir se havia um modo mais barato, inteligente e seguro de pousar um artefato no planeta vermelho. Depois, queriam saber se havia como usar um pequeno veículo móvel de forma útil, balanceando sistemas de inteligência artificial e comandos enviados da Terra. Do ponto de vista tecnológico, a missão foi impecável. Previsto para durar um mês, o robô durou três meses.

Com suas câmeras de altíssima definição, a sonda Mars Global Surveyor foi a grande estrela marciana em 1997, superando tudo que havia sido feito antes a respeito de **sensoriamento remoto** naquele planeta. Com seu sucesso, foi possível descobrir que

um dia Marte teve um campo magnético forte, assim como a Terra, e que o planeta parece estar passando por uma fase de aquecimento global: a cada ano marciano, a capa de gelo de dióxido de carbono presente nos pólos parece estar ligeiramente menor, dando a entender que a quantidade "desaparecida" da substância foi parar na atmosfera, tornando-a mais densa e capaz de preservar o calor. Pelos planos originais, a Global Surveyor só iria operar até 2000, mas sua saúde inabalável permitiu que a missão fosse mantida até 2007.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.27. Ilustração da Mars Global Surveyor.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.28. Sinais de água geologicamente recentes obtidos pela Mars Global Surveyor.

Em junho de 2000, um novo estudo com a Mars Global Surveyor revelou sinais de água geologicamente recentes na superfície marciana, com no máximo alguns poucos milhões de anos. Isso quer dizer basicamente que ainda hoje devem acontecer, de tempos em tempos, alguns refluxos de água pela superfície. E sabe-se lá o que ocorre no subsolo. O estudo praticamente ressuscitou a esperança de encontrarmos formas de vida ainda hoje no planeta vermelho.

Em meados de 2003, os americanos fizeram nova revolução em Marte, com o lançamento dos dois Mars Exploration Rovers, jipes robotizados que seguiram a trilha de sucesso iniciada pelo Sojourner, na missão Pathfinder. Os dois robôs, chamados Spirit e Opportunity, pousaram com sucesso no planeta vermelho em janeiro de 2004 e permaneceram em operação por alguns anos, embora sua missão originalmente estivesse planejada para durar apenas três meses. Graças a eles, foi possível determinar que, ao menos em algumas regiões marcianas, já houve água líquida em abundância na superfície, reforçando a idéia de que pode ter havido vida no passado do planeta.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.29. Ilustração de um dos Mars Exploration Rovers em Marte.

Nessa missão, a música brasileira também se fez presente para despertar o Spirit. Desta feita a escolha ficou a cargo do físico brasileiro Paulo Antonio de Souza Jr. (1976-), participante da missão. Tendo estudado em Vitória, ele se tornou fã da banda capixaba Casaca, que interpreta a música "Da Da Da".

Exploração de Vênus

O outro grande alvo planetário estabelecido desde o início da Era Espacial, Vênus, se mostrou um desafio muito mais complexo. Aqui também soviéticos e americanos disputaram o espaço desde o início da Corrida Espacial.

Lançada ao espaço antes do vôo de Gagarin, em 12 de fevereiro de 1961, a Venera 1 só chegou a Vênus em 19 de maio de 1961. Ela pesava cerca de 650 kg, com um formato cilíndrico e um metro de diâmetro por dois metros de altura. Quando fez sua aproximação máxima do planeta, a uma distância de cem mil quilômetros, nenhum dos sistemas estava operacional e a comunicação com a nave já havia sido perdida. A sonda fez sua passagem silenciosamente, deixando intactos para suas sucessoras todos os mistérios venusianos.

Os americanos responderam em 1962, iniciando o programa de sondas Mariner. Em 14 de dezembro daquele ano, a Mariner 2 chegou a 34.833 quilômetros da superfície de Vênus. Dados obtidos na freqüência do infravermelho mostraram que o planeta era realmente coberto por nuvens, tinha a parte superior da atmosfera bastante gélida e uma superfície escaldante. Como as nuvens iriam bloquear a luz vinda do solo, a Nasa nem se deu ao trabalho de instalar uma câmera para tirar fotografias. E o ambiente encontrado se mostrou tão proibitivo à vida que acabou por reduzir drasticamente o interesse americano pelo planeta.

Como Marte, a atmosfera venusiana é rica em dióxido de carbono, mas com uma pressão atmosférica 90 vezes superior à da Terra. Um mundo fervente, sua temperatura na superfície chega à casa dos 500ºC. Nessa temperatura, o chumbo se liquefaz.

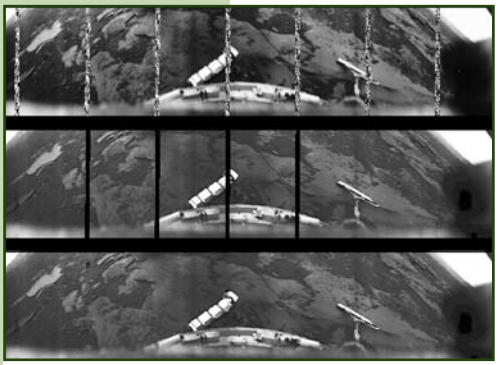
Lançada em 16 de novembro de 1965, a Venera 3 tinha um objetivo diferente: impactar diretamente contra a superfície venusiana e enviar informações da atmosfera daquele planeta. A tentativa fracassou quando o contato com a sonda foi perdido. Apesar disso, a nave se tornou o primeiro objeto confeccionado pelo ser humano a cair em outro planeta.

O primeiro grande sucesso soviético veio mesmo com a Venera 4, em 1967. Ela chegou a transmitir dados de dentro da atmosfera, mas foi esmagada como uma lata de sardinha antes de chegar ao solo, por conta da elevada pressão atmosférica do planeta. Um dia depois do sucesso da sonda soviética, em 19 de outubro de 1967, chegava às imediações de Vênus a Mariner 5, terceira tentativa americana de estudar aquele planeta. A missão novamente fez apenas um sobrevôo, a uma distância mínima de 3.900 quilômetros.

Em 1969, os soviéticos alteraram o projeto da Venera para que ela fosse capaz de fazer um pouso suave na superfície. A quinta nave da série foi incinerada ao penetrar na atmosfera venusiana e não produziu dados relevantes. Já a Venera 6 enviou dados de até 11 quilômetros de altitude, antes de também ser destruída. Finalmente, um ano e meio depois, em 15 de dezembro de 1970, a Venera 7 se tornou o primeiro artefato humano a sobreviver a um pouso em Vênus.

A sonda transmitiu dados por 23 minutos, antes de sucumbir às condições terrivelmente adversas de temperatura e pressão. Em 1972, a Venera 8 ampliou esse sucesso, trabalhando por 50 minutos na superfície.

A investida seguinte viria dos Estados Unidos, com a Mariner 10. Mas os americanos não estavam mirando Vênus – pretendiam usar apenas a gravidade do planeta como um estilingue para atirar a sonda na direção de Mercúrio. Foi a primeira vez que essa manobra de aceleração e correção de curso via gravidade foi realizada, numa experiência valiosa para a futura exploração do Sistema Solar Exterior (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno).



IKI (Russian Venus landers) http://arc.iki.rssi.ru/eng/

Figura 4.30. Imagem da superfície de Vênus obtida pela Venera 10.

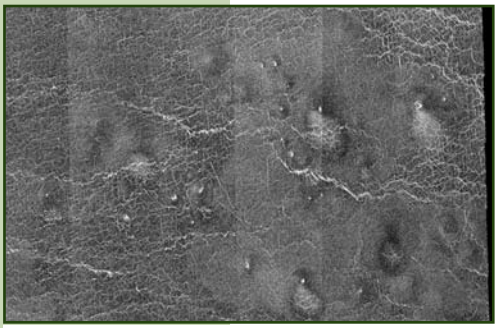
Se os americanos a cada momento reduziam seus esforços voltados para Vênus, os soviéticos pareciam em êxtase com seus sucessos. Em 1975, mandaram logo duas missões, Venera 9 e 10. Cada uma delas era composta por um veículo orbital e outro de pouso. Ambas redundaram em sucesso absoluto e transmitiram as primeiras imagens da superfície de Vênus, em branco e preto, mostrando que, apesar de densa, a atmosfera era transparente à luz visível no nível do solo e a luminosidade do Sol permitia que se enxergasse o cenário em volta.



IKI (Russian Venus landers) http://arc.iki.rssi.ru/eng/

Figura 4.31. Imagem colorida da superfície venusiana obtida pela Venera 14.

Em 1981, os soviéticos resolveram dar um colorido especial à exploração – literalmente. As sondas Venera 13 e 14 foram as primeiras a enviar imagens coloridas da superfície venusiana, além de conduzir testes de análise do solo daquele planeta.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.32. Imagem obtida por radar da superfície de Vênus obtida pela Magellan.

Entre 1990 e 1994, a sonda americana Magellan [Magalhães] se instalou em órbita do planeta e forneceu uma verdadeira torrente de dados sobre ele. Contada em *bytes*, ela era maior do que toda a produção das sondas anteriores enviadas a toda parte! O mapeamento por radar atingiu resolução de 300 metros, ofertando uma "visão" espetacular da superfície.

Descobrimos, por exemplo, que Vênus é extremamente ativo e "troca de pele", ou seja, renova sua superfície, com razoável freqüência. Também foi possível constatar que o planeta possui uma dinâmica geológica similar à vista na Terra. Aliás, em termos geológicos, talvez Vênus seja bem mais parecido com a Terra do que Marte. Uma imagem que, se por um

lado aprofunda nossas motivações para estudar de perto os processos correntes na superfície venusiana (na esperança de entendermos melhor nosso próprio planeta), por outro nos confronta com chocantes evidências de que planetas em princípio muito parecidos podem evoluir de formas extremamente diversas.

Retorno de amostras

O visionário Robert Goddard já imaginava, em 1907, qual seria o valor de amostras coletadas em outros mundos para o avanço da ciência. Disse ele:

> Em seus vários estágios de desenvolvimento, os planetas estão sujeitos às mesmas forças formativas que operam em nossa Terra, tendo, portanto, a mesma formação e provavelmente a mesma vida geológica de nosso passado e, talvez, de nosso futuro; mas, além disso, estas forças estão atuando, em alguns casos, em condições totalmente diferentes daquelas em que operam sobre a Terra, e por isso devem desenvolver formas diferentes das conhecidas pelo ser humano. O valor do material desse tipo para as ciências comparadas é tão óbvio que dispensa qualquer comentário. (GODDARD, R. 1994, p. 173).

Infelizmente, a despeito dos avanços tecnológicos de lá para cá, o retorno de amostras ainda é um sonho distante. Talvez seja possível coletar algo da atmosfera, mas rochas do solo venusiano parecem difíceis demais para se manusear com as tecnologias atuais. Um veículo de retorno provavelmente sucumbiria pela alta pressão e temperatura antes de ser enviado de volta à Terra com seu precioso e escaldante conteúdo recém-coletado. Missões tripuladas à superfície estão totalmente fora de cogitação.

Exploração de Mercúrio

Do Sistema Solar Interior, só nos resta agora falar de Mercúrio. E olhe que não há muito para dizer. Apesar de estar muito mais perto de nós do que os planetas exteriores, o pequenino mundo foi visitado apenas uma vez, por uma única sonda de sobrevôo, a americana Mariner 10. Mas a sonda só foi capaz

de fotografar 50% da superfície, em três diferentes sobrevôos realizados entre 1974 e 1975.

Duas missões programadas para o futuro devem resolver esse problema. Uma delas, a americana Messenger, foi lançada em agosto de 2004 e tem chegada prevista em Mercúrio em 2011. A segunda, batizada de BepiColombo, é uma missão da Agência Espacial Européia (ESA) [European Space Agency] e só deve decolar em 2013.

Visitar Mercúrio pessoalmente, ou mesmo trazer amostras automaticamente, parece em princípio ser mais simples do que ir até Vênus. Por outro lado, até agora, não houve motivação para desenvolver missões desse tipo. Uma visita tripulada provavelmente só seria possível com um pouso no lado noturno do planeta, onde a temperatura fica na casa dos 173 graus Celsius negativos.

Na porção iluminada pelo Sol, que se mostra com tamanho aparente três vezes maior do que o visto da Terra, a temperatura chega a escaldantes 425 graus Celsius.

Exploração do Sistema Solar Exterior

Além do cinturão de asteróides, o Sistema Solar tem quatro planetas "oficiais": Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Depois deles, vem a ovelha negra, Plutão, classificado como planeta anão. Colocado deste modo, pode não parecer muita coisa. Mas é preciso lembrar que não estamos falando de planetas terrestres convencionais. Esses mundos, à exceção plutoniana, são gigantes gasosos, muito maiores do que os que existem no Sistema Solar Interior. E cada grandalhão desses possui uma infinidade de luas, algumas delas com tamanho suficiente para serem planetas. Cada gigante gasoso pode ser visto, grosso modo, como um sistema planetário em miniatura.

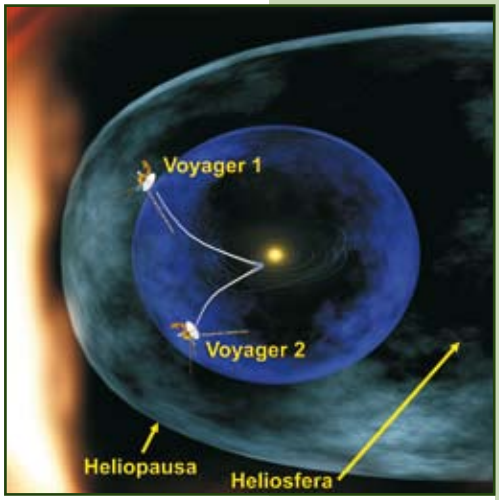
Veja Júpiter, por exemplo: até 2007, os astrônomos já haviam descoberto nada menos que 62 satélites naturais em torno dele.

Tudo bem, há os que mais parecem asteróides (e provavelmente o são), mas há também verdadeiros monstros, como Ganimedes, uma das quatro luas descobertas por Galileu Galilei no sistema joviano. Não só ele é o maior satélite natural do Sistema Solar como tem um diâmetro de 5.270 quilômetros, maior que o de Mercúrio e o de Plutão.

Na condição de mais próximo e maior planeta gigante do Sistema Solar, Júpiter também é o mais visitado dos astros além da órbita de Marte. Curiosamente, a União Soviética não cumpriu um papel muito significativo na exploração de nenhum desses planetas mais distantes.

A primeira missão a Júpiter foi a Pioneer 10, lançada em março de 1972. Numa rota direta, ela fez o sobrevôo de Júpiter um ano e nove meses depois, passando a 130 mil quilômetros do topo das nuvens do gigante gasoso. Ela foi rapidamente seguida pela Pioneer 11, lançada em abril de 1973. Essa missão foi ainda mais ambiciosa, realizando o sobrevôo de Júpiter em fevereiro de 1974 e então usando-o como estilingue para atingir o planeta Saturno. A missão, na verdade, serviu como um belo aperitivo do que se tornaria a maior jornada não-tripulada já conduzida pela humanidade.

A cada 176 anos, aproximadamente, os planetas gigantes gasosos se posicionam de uma forma tal que é possível lançar uma nave na direção de Júpiter e então se aproveitar de uma cascata de efeitos estilingues, em que cada planeta atira a nave na direção do próximo, até a borda do sistema. Tal ocasião se faria presente em 1977, e a Nasa decidiu que precisaria se aproveitar da oportunidade única. Iniciou os planos para uma missão de *Grand Tour* [grande jornada] do Sistema Solar Exterior em 1965, mas acabou se deparando



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.33. Trajeto seguido pelas sondas Voyager 1 e 2.

com um projeto muito caro e decidiu reduzir seu escopo para uma mera missão de visita a Júpiter e Saturno. Foi assim que nasceram as sondas gêmeas Voyager.

Curiosamente, a primeira a ser lançada foi a Voyager 2, em 20 de agosto de 1977. Duas semanas depois, em 5 de setembro, partiria a Voyager 1, que, por adotar uma trajetória mais rápida, acabou sendo a primeira a chegar em Júpiter, em março de 1979, após uma viagem de 800 milhões de quilômetros.

A Voyager 2 chegou logo depois, em julho. A missão dupla fez um sucesso estrondoso: estudou os anéis jovianos (sim, ele também tem anéis, embora sejam bem mais discretos que os de Saturno), descobriu novas luas, fez detecções do poderoso campo magnético do planeta e produziu observações inéditas da dinâmica atmosférica do gigante gasoso. De perto, as gêmeas observaram as quatro luas galileanas: Io, Calisto, Ganimedes e Europa.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.34. Ilustração das sondas Voyager 1 e 2.

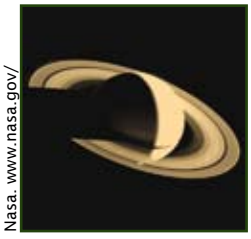
Sem demora, ambas partiram para o sistema saturnino. A Voyager 1 foi orientada de modo a fazer seu sobrevôo, realizado em novembro de 1980, o mais perto possível de Titã, a lua mais interessante de Saturno. Com essa orientação, a sonda acabou sendo atirada para fora do plano do Sistema Solar após esse sobrevôo, encerrando a fase planetária de sua missão. Já a Voyager 2, que passou pela mesma região em agosto de 1981, pôde ser direcionada de modo a tomar o rumo para Urano.

Com o sucesso da missão, a Nasa achou que talvez valesse a pena tentar, enfim, realizar o *Grand Tour*. Esticaram o projeto até que a sonda pudesse atingir o sétimo



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.35. Júpiter, visto pela Voyager 1.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.36. A despedida de Saturno, pela Voyager 1.

planeta, o que ela fez em janeiro de 1986. Em Urano, estudou seus anéis, descobriu novas luas, mapeou parcialmente algumas delas e identificou atividade atmosférica no estranho planeta, que gira em torno de si mesmo com seu eixo de rotação apontado para o Sol, como se estivesse deitado. Mais um grande sucesso, e mais uma esticada.



Nasa. www.nasa.gov/

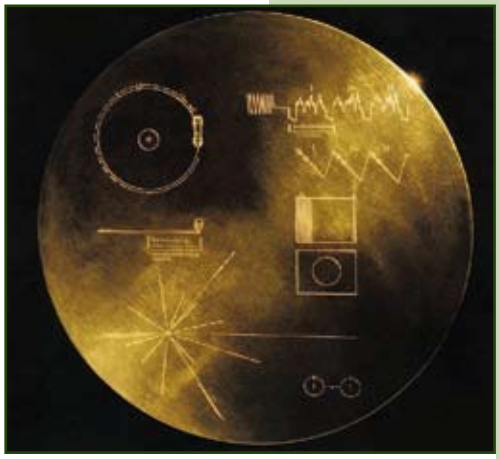
Figura 4.37. Urano, fotografado pela sonda Voyager 2.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.38. Passagem da Voyager 2 por Netuno e Tritão.

A sonda foi direcionada a Netuno, por onde passou em 1989, causando similar revolução. Até hoje, a maioria absoluta do que sabemos sobre esses dois planetas veio da Voyager 2, que, a propósito, segue funcionando e em contato com a Terra, numa missão estendida além das fronteiras do Sistema Solar. O mesmo ocorre com a Voyager 1, que, em maio de 2005, atingiu a última fronteira do Sistema Solar, a 14 bilhões de quilômetros do Sol. Mantidas "vivas" graças à energia nuclear, as Voyagers devem operar ainda por vários anos.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.39. Placa de ouro da Voyager.

As Voyager foram provavelmente as missões não-tripuladas mais marcantes desde o início da Era Espacial. Elas beiram a ficção. Na expectativa de que um dia possam ser encontradas por civilizações extraterrestres, elas carregam, em som e imagem, um grande número de informações sobre nós e nossa localização, evolução, cultura, organização social e tecnologia.

Mas, se olharmos friamente, apesar de todo o sucesso, foram apenas sobrevôos. Claramente, as centenas de mundos existentes no Sistema Solar Exterior (incluindo aí luas e planetas) merecem mais do que isso. Nada de mais sobrevôos; estamos falando de missões orbitais.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.40. Ilustração da sonda Galileo em Júpiter.

Tudo começa, naturalmente, com Júpiter. Em 1989, partiu da Terra, via ônibus espacial, a sonda Galileo. Sua missão ao redor do planeta foi de dezembro de 1995 a setembro de 2003. Em sua longa estadia, a nave deu um enorme salto qualitativo em nosso conhecimento sobre os arredores de Júpiter.

O mesmo agora está sendo feito por Saturno e suas luas, pela sonda orbitadora Cassini, lançada pela Nasa em 1997. O nome da sonda veio do astrônomo ítalo-francês Jean Dominique Cassini (1625-1712), que, em 1675, descobriu que os anéis de Saturno eram divididos em duas grandes faixas, separadas por um vão, conhecido desde então como a divisão de Cassini. O cientista também descobriu vários dos satélites do planeta.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.41. Ilustração da Cassini em Saturno.

A pesada espaçonave, com seus quase sete metros de comprimento por quatro metros de largura, atingiu o sistema de Saturno em 1º de julho de 2004. Ao entrar em órbita, ela iniciou uma missão que deve durar pelo menos quatro anos, para estudar alguns enigmas hoje sem resposta clara. Por exemplo, por que Saturno tem um campo magnético tão intenso? Ou: o que leva o planeta a girar tão rapidamente em torno de si mesmo (ele completa um dia a cada dez horas, embora tenha 120 mil quilômetros de diâmetro, dez vezes mais que a Terra), a ponto de ser o planeta mais achatado do Sistema Solar? Qual é o clima que se esconde sob o tom alaranjado aparentemente calmo do topo das nuvens? Por que há diferentes proporções de hélio e hidrogênio lá e em Júpiter, seu parente mais próximo?

A missão ainda teve um adicional – a execução do primeiro pouso de uma nave espacial num satélite natural que não seja a Lua. Acoplada à sonda da Nasa viajou a Huygens, pequena nave em formato de disco construída pela Agência Espacial Européia (ESA) que se desprendeu do veículo principal e realizou uma descida em Titã, enviando as primeiras imagens da superfície daquele mundo, que, acredita-se, possui lagos de metano e plataformas de gelo congelado na superfície.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.42. Titã, lua de Saturno, envolta pela espessa névoa que bloqueia a visão da superfície.

Por mais que todos esses resultados sejam fantásticos, eles empalidecem diante do que está por vir – ainda há muito a ser feito no campo não-tripulado. A exemplo do que ocorreu com Júpiter, e está ocorrendo com Saturno, Urano e Netuno também merecem visitas mais detalhadas. E a primeira sonda a visitar Plutão, a New Horizons, foi lançada em janeiro de 2006. Ela deve chegar lá por volta de 2015.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.43. Imagem capturada pela sonda Huygens na superfície de Titã.

Ou seja, a aventura está apenas começando – e tende a se acelerar nos próximos anos. Hoje, os únicos programas espaciais que fizeram investidas consideráveis no campo da exploração não-tripulada foram os de Estados Unidos, Rússia, Europa e Japão. Mas países emergentes gradualmente começam a entrar no jogo. A China, em 2003, se tornou o terceiro país a enviar astronautas por meios próprios ao espaço e, em 2007, enviou sua primeira espaçonave não-tripulada à Lua. A vizinha Índia também tem planos para uma sonda lunar nos próximos anos, e o Brasil caminha para se tornar o nono país a desenvolver a capacidade de lançar seus próprios satélites.



Tem alguém aí?

Na expectativa de que um dia elas possam ser interceptadas por seres inteligentes, a Voyager 1 e a Voyager 2 carregam um disco contendo imagens e sons da Terra. O disco, com 30 cm de diâmetro, é feito de cobre e recoberto em ouro. Nele há sons da natureza, incluindo: vento, pássaros, trovão e o choro de uma criança. Existem também sons de invenções humanas, tais como: trem, ônibus, foguete, avião e automóvel. Há sons do beijo de uma mãe no seu bebê recém-nascido e o beijo de um homem numa mulher. As naves levam também saudações em 55 línguas, incluindo o português. Para ouvir a mensagem em português basta acessar o sítio http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/languages/portuguese.html. Há também 90 minutos de música, contendo, dentre outras, clássicos de Bach, Mozart, Beethoven e Stravinsky. As 116 imagens contidas no disco pretendem passar informações sobre a nossa civilização. Além de definições físicas e matemáticas, são incluídas imagens sobre a nossa arte e sobre a Lei da Gravitação Universal. Há também imagens que retratam a evolução da espécie humana no planeta Terra e a organização das famílias e os seus biótipos.

Como é que eventuais seres inteligentes que interceptarem as Voyager saberão como tocar o disco? As Voyager carregam, externamente à caixa de alumínio que protege o disco, uma série de instruções em linguagem simbólica. O disco deve ser tocado em um toca-disco que opere em 16,33 rotações por minuto. Para ver as imagens, caberá aos interceptadores das Voyager montar um sistema com televisão. A lógica por trás de toda esta iniciativa é dada por um dos idealizadores do disco, o astrônomo Carl Sagan: “Se são capazes de viajar pelo universo recolhendo espaçonaves, eles serão capazes de entender nossas instruções.”

As Voyager são mantidas graças à energia elétrica gerada por pequenas centrais nucleares a plutônio. Quando a disponibililade de energia cessar e os seus instrumentos pararem, haverá a perda de comunicação com a Terra. No entanto, as Voyager continuarão a viajar pelo espaço interestelar em direção a outros astros. Serão 40 mil anos, antes que elas cheguem a outro sistema solar. Elas hoje encontram-se a cerca de 15 bilhões de quilômetros da Terra, ou seja, na fronteira do Sistema Solar.

SANTOS DUMONT, UM VISIONÁRIO

Saiba mais...

No seu livro “O que eu vi. O que nós veremos”, escrito em 1918, Santos Dumont profetiza:

> É tempo, talvez, de se instalar uma escola de verdade em um campo adequado. Não é difícil encontrá-lo no Brasil. Nós possuímos, para isso, excelentes regiões, planas e extensas, favorecidas por ótimas condições atmosféricas.
>
> Não falemos nas desvantagens de morarem os alunos longe dos campos. Eles precisam dormir próximo à Escola, ainda que para isso seja necessário fazer instalações adequadas, porque a hora própria para lições é, reconhecidamente, ao clarear do dia.
>
> Margeando a linha da Central do Brasil, especialmente nas imediações de Mogi das Cruzes, avistam-se campos que me parecem bons.
>
> Penso que, sob todos os pontos de vista, é preferível trazer professores da Europa ou dos Estados Unidos, em vez de para lá enviar alunos.
>
> É possível que, dentre os quatro ou seis rapazes que forem estudar na Europa, se encontre um, bom professor; isso, porém, não passa de uma probabilidade. Mais acertado e mais seguro, portanto, seria escolher, desde logo, alguns bons professores, entre os muitos que há na Europa e nos Estados Unidos, e contratá-los para ensinar a aviação aqui, em território nosso. (SANTOS DUMONT, Alberto. 1918)



Força Aérea Brasileira (FAB). www.fab.mil.br

Figura 4.44. O Demoiselle sendo transportado por Santos Dumont.



CTA. www.cta.br/montenegro.htm/

Figura 4.45. Marechal do Ar Montenegro.

***Casimiro Montenegro Filho** (1904-2000), até logo, Júlio Verne! Foi assim que um dos membros da comitiva oficial, que visitava a área onde o Ministério da Aeronáutica pretendia construir o Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA), se despediu de Casimiro Montenegro Filho. Natural de Fortaleza, deixou sua terra natal em 1923, rumo ao Rio de Janeiro, para se tornar piloto do exército e realizar o sonho de Santos Dumont. Em 1941, participou da criação do Ministério da Aeronáutica. Em uma viagem realizada aos EUA, em 1943, impressionou-se com o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Ao voltar ao Brasil, estava com a idéia fixa de criar algo parecido com o MIT. Em 16 de novembro de 1945, foi assinado o ato de criação do CTA, de onde surgiu o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Em uma entrevista concedida em 1992, afirmou: "Tudo o que fiz foi com prazer, não foi com a intenção de me promover, foi com o interesse de servir ao País". O Marechal do Ar Montenegro era um homem à frente do seu tempo.*

Embora o Brasil ainda esteja por dar seus maiores passos no setor, sua vocação espacial há muito esteve manifesta. A primeira iniciativa governamental claramente voltada para o estabelecimento de um programa espacial nacional remonta ao governo Jânio Quadros.

Em 3 agosto de 1961, pouco antes de renunciar à presidência da República, Jânio Quadros (1917-1992) cria o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Gocnae), agremiação mista civil-militar dotada do objetivo de estabelecer políticas e planos para esta área. Depois consolidado na Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Cnae), essa instituição foi a base para a criação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), em São José dos Campos, interior do estado de São Paulo.

Apesar de o surgimento deste grupo ser o marco inicial mais claro do Programa Espacial Brasileiro, suas raízes surgem claramente ainda nos anos 1940, quando são criados o Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) e o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), instalados em São José dos Campos pela Força Aérea Brasileira.

O ITA, subordinado diretamente ao CTA, foi concebido nos moldes do famoso Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), nos Estados Unidos justamente para produzir mão-de-obra qualificada para a criação de uma indústria aeroespacial pujante no País.

É dentro do CTA que começam a surgir os primeiros projetos com vocação verdadeiramente espacial, entre os quais se destacou o desenvolvimento da série de foguetes Sonda, a partir de 1961. O primeiro veículo da série foi criado em forte cooperação com os Estados Unidos – tanto que boa parte de suas peças foi importada daquele país e suas características básicas eram muito similares a um foguete meteorológico americano chamado Arcas.

Para lançar esses primeiros foguetes foi criado o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), próximo a Natal, RN. A primeira decolagem feita dali foi a do foguete americano Nike Apache, em 1965. No mesmo ano, seria realizado o lançamento

inaugural do Sonda I. Tecnicamente, ele era apenas um foguete de sondagem atmosférica, atingindo uma altura máxima de 64 quilômetros. Mas serviu de base tecnológica para o desenvolvimento de toda uma série de foguetes, com capacidades crescentes.

O Sonda II teve o seu primeiro lançamento oficial em 1972. Seu apogeu (altura máxima) foi de 88 quilômetros. Já o Sonda III, lançado pela primeira vez em 1976, atinge até 595 quilômetros, dependendo da carga transportada. Tanto o Sonda II como o Sonda III encontram-se operacionais, acumulando, respectivamente, 31 e 61 lançamentos ao longo das suas existências. O último foguete da série, o Sonda IV, com desenvolvimento concluído em 1984, atingia 644 quilômetros, tendo sido desenvolvido com vistas a testar as tecnologias que seriam utilizadas no Veículo Lançador de Satélites (VLS). Sua produção foi descontinuada após quatro vôos.

Ainda na linha dos foguetes de sondagem, foram desenvolvidos o VS-40, o VS-30 e o VSB-30. O VSB-30 foi desenvolvido a partir de uma solicitação da Agência Espacial Européia, tendo o seu primeiro vôo sido realizado em 23 de outubro de 2004, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Posteriormente, outros vôos foram realizados, tanto na Europa quanto no Brasil.

O uso de artefatos espaciais produzidos no Brasil por nações mais desenvolvidas revela a qualidade e competência do trabalho realizado pelos técnicos e engenheiros brasileiros, coroando, assim, um esforço de décadas.



Danton Villas Bôas (IAE/CTA).

Figura 4.46. Foguete Sonda II, em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB).



Microgravidade: pode ser definida como a sensação aparente de ausência total ou quase total de peso. Essa situação se apresenta quando uma nave está em órbita ou em queda livre (na verdade, uma nave em órbita está em queda livre, mas com uma curvatura tal que sua trajetória sempre "erra" o objeto na direção do qual está caindo).

Embora esses foguetes atinjam o espaço, nenhum deles tem potência suficiente para atingir a velocidade necessária à colocação de um objeto em órbita baixa (cerca de 28.000 km/h). Eles realizam o que se denomina vôo suborbital, transportando uma carga útil (experimento) até uma altitude requerida e retornando à superfície terrestre. Apesar disso, eles são de grande utilidade no meio científico. Durante parte do vôo parabólico que realizam fora da atmosfera terrestre (acima de 90 km), são criadas as condições de **microgravidade**, permitindo, assim, a realização de experimentos importantes para cientistas de todo o planeta.

Além dos cientistas estrangeiros, fazem uso dos foguetes de sondagem nacionais universidades e centros de pesquisa brasileiros. Para fomentar tais atividades, a Agência Espacial Brasileira (AEB) possui dois programas. O Programa Microgravidade objetiva colocar à disposição da comunidade técnico-científica brasileira oportunidades de realizar experimentos em ambientes de microgravidade, provendo o acesso e suporte técnico necessários. O segundo programa, Programa Uniespaço, visa promover a integração das universidades ao programa espacial. Foi por meio do Programa Uniespaço que cientistas brasileiros conduziram experimentos a bordo da Estação Espacial Internacional (ISS) em abril de 2006.

A MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA (MECB)

A partir de 1969, os projetos dos foguetes de sondagem brasileiros passaram a ser geridos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), um dos institutos do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA). Na mesma época, a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Cnae) foi transformada no Inpe, um instituto voltado apenas para pesquisas, mas não para a formulação de políticas. Conseqüentemente, foi preciso criar uma nova instituição responsável pelo gerenciamento do programa

espacial brasileiro. Surge então a Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae). E é deste grupo que eventualmente emerge o conceito da Missão Espacial Completa Brasileira – a idéia de lançar um satélite criado e fabricado no País com um lançador nacional a partir de uma base de lançamentos brasileira. Concebida ao final da década de 1970, a MECB somente foi implementada na década de 1980.



IAE/CTA. www.iae.cta.br/

Figura 4.47. O Veículo Lançador de Satélites (VLS-1).

Pelo conhecimento e experiência acumulados com a série Sonda, coube ao IAE a responsabilidade pelo desenvolvimento do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1) brasileiro. Ao Inpe coube a concepção, desenvolvimento e construção do Satélite de Coleta de Dados (SCD-1). Quanto à base de lançamento, seria uma responsabilidade do então Ministério da Aeronáutica. De início, imaginou-se a expansão do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, mas, quando ficou claro que uma nova instalação seria necessária, a Força Aérea decidiu construir em Alcântara, no Maranhão, o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).



Inpe. www.inpe.br/

Figura 4.48. O SCD-1, primeiro satélite brasileiro.

Com a criação da MECB, surge o primeiro projeto realmente integrador do programa espacial nacional, costurando as atividades de seus diferentes atores para um fim produtivo. Entretanto, as coisas não saíram como planejadas. A idéia era que todas as peças estivessem em seus lugares para o primeiro lançamento nove anos depois, ou seja, em 1988. Mas não aconteceu.

O primeiro satélite de fabricação nacional, o SCD-1, ficou pronto para ser lançado ao espaço em 1993, com cinco anos de atraso. As dificuldades para a conclusão do VLS-1 foram bem maiores que as imaginadas inicialmente. Em função de sucessivas crises econômicas no Brasil, não houve o aporte de recursos financeiros necessários ao desenvolvimento do VLS-1. A política salarial governamental também colaborou para essa situação, levando a perdas significativas de técnicos e engenheiros para a iniciativa privada. Com eles, se foram conhecimentos acumulados por décadas – problema sério, uma vez que, na área espacial, trabalha-se no estado-da-arte do conhecimento.

No campo externo, as dificuldades não foram menores. Sob a alegação de que um foguete como o VLS-1 poderia tanto transportar um satélite como uma bomba, os países desenvolvidos se recusaram, de maneira sistemática, a vender ao Brasil equipamentos e tecnologia necessários ao VLS-1.

Em que pese o Brasil possuir naquela época um programa nuclear, com finalidade pacífica, a verdadeira razão para o boicote é de caráter econômico. O mercado internacional de lançamento de satélites movimenta bilhares de dólares anualmente. Conseqüentemente, as nações detentoras dessa tecnologia não estão dispostas a vender os seus conhecimentos, mas, sim, seus serviços. Afinal, de que lhes interessa mais um concorrente?

Em 10 de fevereiro de 1994, é criada a Agência Espacial Brasileira (AEB), em substituição à Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae). Atualmente, a AEB é subordinada ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

Como resultado das dificuldades com o desenvolvimento e qualificação do VLS-1, o SCD-1 foi lançado por um foguete Pegasus americano, a partir da Flórida, nos Estados Unidos, em 9 de fevereiro de 1993.

Sua operação bem-sucedida constituiu um marco: era o primeiro satélite artificial brasileiro em órbita. O equipamento funcionou perfeitamente, demonstrando, mais uma vez, a competência

nacional para o desenvolvimento de artefatos espaciais. Ao SCD-1 competia coletar os dados enviados por estações meteorológicas em terra espalhadas pelo País e retransmiti-los a uma estação receptora. O segundo satélite da série, SCD-2, também foi lançado pelos americanos, em 1998. Ambos continuam operacionais.

O Veículo Lançador de Satélites brasileiro é composto por quatro estágios, todos eles de propelente sólido. Ele é voltado para satélites de pequeno porte (no máximo, 350 quilos), com órbitas de baixa altitude (no máximo, mil quilômetros). Sua principal virtude é dotar o Brasil de acesso próprio ao espaço, capacitação existente hoje somente em oito aíses do mundo (Rússia, Estados Unidos, França, Ucrânia, Índia, Israel, Japão e China).

Em seu primeiro vôo de teste, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara, em 2 de novembro de 1997, o VLS-1 se autodestruiu 29 segundos após a decolagem. A falha ocorreu no primeiro estágio – um dos quatro motores não funcionou, criando estresse excessivo sobre o veículo, que não resistiu. Com ele, foi-se a primeira oportunidade de realizar a MECB. No topo do foguete estava uma réplica do SCD-2, o SCD-2A, que foi perdida no mar com a falha no lançamento.

Nova tentativa de lançar o VLS-1 se deu em 11 de dezembro de 1999, mas, mais uma vez, uma falha, desta feita no seu segundo estágio, impediu o sucesso. Com ele foi perdido o satélite Saci-2, artefato científico desenvolvido pelo Inpe e dotado de um magnetômetro, detectores de partículas e um experimento atmosférico.

Quanto ao Saci-1, havia sido lançado com sucesso dois meses antes por um foguete chinês, mas havia perdido contato com a Terra pouco depois de chegar à órbita.

Na preparação para a terceira tentativa de lançamento, em 22 de agosto de 2003, uma falha muito grave ocorreu, com o acionamento prematuro de um dos motores do primeiro estágio enquanto técnicos e engenheiros ainda trabalhavam no foguete, na plataforma. O resultado foi a morte de 21 técnicos do IAE. Atualmente, técnicos russos e brasileiros trabalham na revisão do VLS-1,

visando dotá-lo de maior confiabilidade e segurança para a realização de um novo lançamento.

Felizmente, o Programa Espacial Brasileiro vai muito além do VLS-1, e vários outros projetos animam os pesquisadores brasileiros. O de maior destaque, hoje, é o Programa Cbers, sigla para China-Brazil Earth-Resources Satellite [Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres] – o desenvolvimento de uma série de satélites de observação da Terra em parceria com a China. O primeiro satélite da série, Cbers-1 foi lançado juntamente com o Saci-1, em 1999, e funcionou com perfeição até 2002.

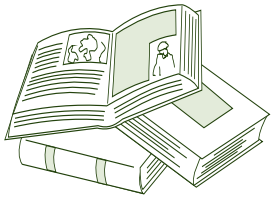


Inpe. www.inpe.br/

Figura 4.49. O Cbers-1, primeiro satélite nacional feito em parceria com a China.

Em 2003, foi lançado, também da China, o segundo da série, Cbers-2. O terceiro partiu em 2007 (Cbers-2B) e mais quatro estão previstos até 2020.

Com a conclusão do desenvolvimento do VLS-1 e a continuidade dos trabalhos do Inpe em satélites científicos e de observação da Terra, novas fronteiras certamente se abrirão para o Brasil no campo da exploração espacial. Provavelmente já estão hoje cursando o Ensino Fundamental e Médio os futuros profissionais que trabalharão com as primeiras espaçonaves brasileiras a irem à Lua, a Marte ou além.

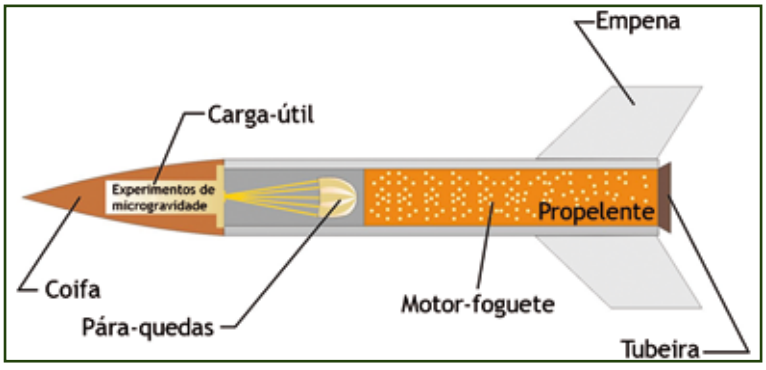


LEITURAS COMPLEMENTARES

FOGUETES

Danton José Fortes Vilas Bôas (IAE/CTA) e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Foguetes são veículos destinados ao transporte de cargas e pessoas ao espaço. Podem ser classificados quanto ao tipo (foguetes de sondagem e veículos lançadores de satélites), propelente (sólido, líquido, híbrido), número de estágios (mono, bi e multi-estágios) e aplicação (tripulado e não-tripulado). A Figura 4.51 mostra a representação esquemática de um foguete mono-estágio, com os seus principais constituintes, quais sejam: coifa, carga-útil, sistema de recuperação (pára-quedas), motor-foguete, empenas e tubeira. A coifa serve para proteger a carga-útil, que pode ser um satélite, um astronauta, ou experimentos de microgravidade. A sua forma visa diminuir o atrito do foguete com a atmosfera terrestre. Em algumas situações é de interesse recuperar a carga-útil. Nesses casos, é necessária a utilização de um sistema de recuperação do tipo pára-quedas para, quando do vôo descendente do foguete, diminuir a velocidade de impacto com o solo ou com a água.



Amery Neto.

Figura 4.51. Representação esquemática de um foguete e os seus principais componentes.



Academia Brasileira de Ciências (ABC). www.abc.org.br/

Figura 4.50. O nosso "von Braun"

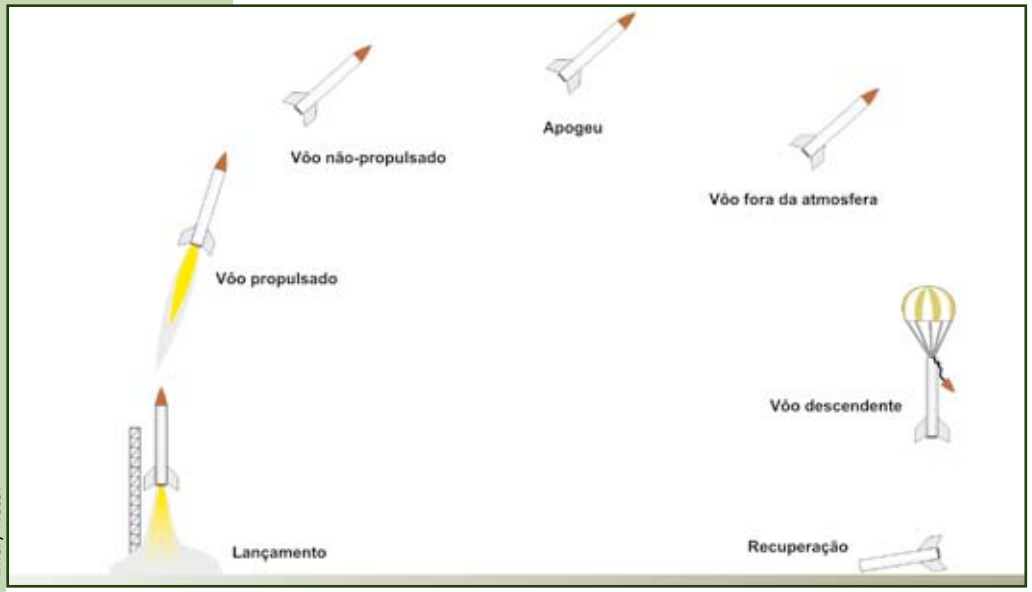
Jayme Boscov *nasceu em 09 de agosto de 1932 na cidade de São Paulo. Aos 27 anos concluiu o seu curso de engenharia aeronáutica no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Depois de trabalhar por vários anos no Programa Espacial Francês, ele retornou ao Brasil em 1969, tendo formado e chefiado a Divisão de Projetos e Foguetes do Instituto de Aeronáutica e Espaço. Entre 1969 e 1992, gerenciou o desenvolvimento dos foguetes de sondagem Sonda III, Sonda IV e do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1). Ao se aposentar, em outubro de 1995, o Engº. Boscov, como era conhecido entre os seus liderados, tinha formado uma geração inteira de técnicos para o Programa Espacial Brasileiro. Dentre esses, seu nome é referência. Tendo dedicado sua vida profissional ao Programa Espacial Brasileiro, o Engº. Boscov hoje se dedica a um dos seus hobbies, a pintura.*



Mais informações em:
"Foguetes: manual do professor com atividades de ciências, matemática e tecnologia." Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

O motor-foguete, ou propulsor, é o principal componente do foguete. É ele que transporta a energia necessária ao movimento do foguete. Na maioria dos casos, os foguetes fazem uso de energia química transportada na forma de combustíveis (propelentes), que podem ser sólidos ou líquidos. Os propelentes respondem por cerca de 80% da massa total de um foguete. Como resultado de sua combustão são gerados os gases que, expelidos em alta velocidade através da tubeira, causam o movimento do foguete.

As empenas são pequenas asas localizadas na base do foguete. Elas servem para conferir estabilidade durante o vôo. Sem elas, o foguete poderia voar de uma maneira instável, girando e dando cambalhotas durante o vôo. Tal comportamento é inaceitável ao propósito dos foguetes, uma vez que altera a trajetória previamente programada, colocando em risco o vôo, as propriedades sobre os quais o vôo ocorre e, mais importante, vidas humanas.



Amery Neto.

Figura 4.52. Perfil de vôo de um foguete.

Foguetes de sondagem

Os foguetes de sondagem são aqueles que, não possuindo a energia suficiente para fornecer a velocidade orbital de 28.000 km/h à sua carga-útil, atingem uma determinada altitude, denominada apogeu, e retornam à Terra por ação da gravidade. Essa situação é esquematicamente ilustrada na Figura 4.52 para um foguete com um único motor (foguete mono-estágio), na qual são representadas as principais etapas de vôo. Alcance é a distância entre o ponto de lançamento e o ponto de recuperação da carga-útil.

Veículos lançadores de satélites

Os veículos lançadores de satélites devem carregar energia suficiente para garantir, ao final do vôo, que a sua carga-útil (satélite, por exemplo) possua uma componente de velocidade paralela à superfície terrestre de 28.000 km/h. Portanto, uma das diferenças entre um foguete de sondagem e um veículo lançador de satélites é a capacidade de fornecer velocidade à carga-útil. Para deixar clara esta diferença, vale comparar o foguete de sondagem Sonda IV com o VLS-1, ambos mostrados numa mesma escala na Figura 4.53. Ambos são capazes de atingir 750 km de altitude. No entanto, o perfil de vôo do Sonda IV é similar àquele ilustrado na Figura 4.52, e o do VLS-1 é aquele mostrado no quadro "O Veículo Lançador de Satélites". Enquanto o Sonda IV dá início ao seu movimento descendente ao atingir a altitude de 750 km, o VLS-1, ou o que dele restou desde o lançamento, permanece em órbita da Terra, a 28.000 km/h. As diferenças vão além, pois enquanto o Sonda IV carrega cinco toneladas de propelente em seus dois propulsores e possui nove metros de comprimento, o VLS-1 transporta 41 toneladas de propelente, divididas em seus sete propulsores, possuindo um comprimento total de 19 metros.

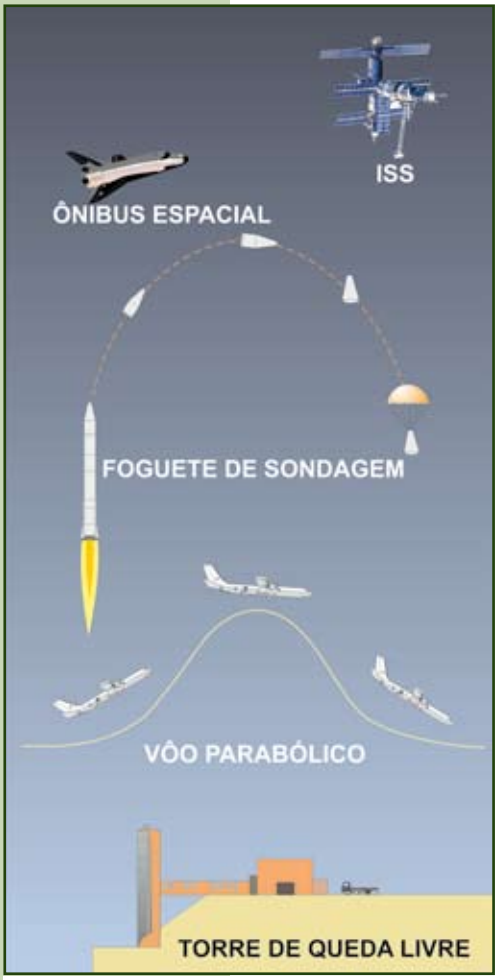




Danton Villas Bôas.

Figura 4.53A e B. Comparação entre o VLS-1 e o Sonda IV.

Ambiente de microgravidade



Amery Neto.

Figura 4.54. Meios para obtenção de mivcrogravidade.

Um exemplo bastante utilizado pelos professores de Física é aquele no qual os cabos de um elevador são cortados e o mesmo despenca, pela ação da gravidade. Durante os breves segundos de duração da queda, o infeliz passageiro desse elevador sentirá o chão faltar aos seus pés. Se estivesse em pé sobre uma balança, esta não registraria o seu peso. Esta sensação de ausência de peso é decorrente do fato de que tanto o elevador quanto o passageiro caem com a mesma aceleração. Alguns parques de diversão possuem torres que permitem que o candidato despenque de uma altura equivalente a um prédio de 20 andares. Para os que têm coragem e apreciam fortes emoções, este é o meio mais barato e seguro de se experimentar a sensação de ausência de peso.

Baseado no princípio acima exposto, alguns países construíram torres de queda livre. Essas torres podem atingir a altura de cem metros. Para eliminar a influência do atrito, é feito vácuo no seu interior. Durante os cinco segundos de queda livre, é possível obter uma gravidade equivalente a cem milésimos da gravidade na superfície terrestre. Apesar de pequeno, este intervalo de tempo permite a projeção e desenvolvimento de experimentos a serem realizados no ônibus espacial e na Estação Espacial Internacional. Países como Estados Unidos, Alemanha e Japão possuem Torre de Queda Livre.

Outro exemplo de criação de ambiente de microgravidade próximo à superfície terrestre são os vôos parabólicos realizados por

aviões. Tais vôos duram cerca de 30 segundos e são largamente utilizados no treinamento de astronautas. Nos dias de hoje, empresas privadas oferecem essa diversão a pessoas dispostas a pagar a bagatela de três mil dólares, mais despesas de hospedagem e transporte até o local do vôo. Entretanto, vale a ressalva de que tais vôos são apelidados de "Cometa do Vômito".

Se os segundos providos pelas torres de queda livre e pelos vôos parabólicos com aviões não são suficientes para o fim desejado, há a possibilidade de realizar vôos parabólicos com foguetes de sondagem, obtendo-se cerca de seis minutos de microgravidade. Por meio do Programa Microgravidade, a Agência Espacial Brasileira oferece a universidades, centros de pesquisa e escolas a possibilidade de realizar experimentos em ambiente de microgravidade. Para tanto, são utilizados os foguetes de sondagem produzidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE).

Caso o tempo necessário para a realização do experimento seja da ordem de alguns dias, as únicas opções são o ônibus espacial americano e a Estação Espacial Internacional (ISS). Nesses casos, entretanto, não se admite que os materiais utilizados nos experimentos, ou mesmo os experimentos, imponham qualquer risco à tripulação e à espaçonave. Conseqüentemente, realizar experimentos nesses ambientes custa caro.

O Projeto Sara, sigla para Satélite de Reentrada Atmosférica, visa ao preenchimento da lacuna existente entre os vôos suborbitais com foguetes de sondagem e os vôos orbitais com o ônibus espacial e a Estação Espacial Internacional. O Projeto Sara encontra-se em desenvolvimento no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e com ele pretende-se dotar o Brasil de uma plataforma orbital para a realização de experimentos em ambiente de microgravidade. A colocação do Sara em órbita da Terra exigirá um veículo lançador de satélites, similar ao VLS-1. O Sara foi concebido para ficar dez dias em órbita da Terra (tempo de vida das suas baterias), após os quais ele terá sua reentrada induzida, sendo recuperado na superfície terrestre.

Para finalizar, é importante ressaltar que a intensidade do campo gravitacional terrestre nas altitudes de operação do ônibus espacial e da ISS é cerca de 90% daquela existente na superfície terrestre. O fato de os astronautas e objetos flutuarem no interior dessas espaçonaves decorre de que tanto elas quanto os astronautas e objetos encontram-se em permanente processo de queda livre em direção à superfície terrestre. Entretanto, como são dotadas de uma componente de velocidade paralela à superfície da Terra de 28.000 km/h, à medida que caem, as espaçonaves descrevem uma trajetória curvilínea que acompanha a curvatura da superfície terrestre. Conseqüentemente, elas nunca atingem a superfície.

O Veículo Lançador de Satélites (VLS-1)



Danton Villas Bôas.

Figura 4.55. Maquete do VLS-1 em exposição no Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB).

Ao final da década de 1970, foi criada a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), que previa a construção e lançamento de satélites a partir do território nacional, por meio de foguetes brasileiros. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) coube o projeto, desenvolvimento e construção dos satélites. Ao Comando da Aeronáutica, na época Ministério da Aeronáutica, coube a construção de um novo centro de lançamento, o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). O desenvolvimento do foguete necessário à colocação dos satélites em órbita, o VLS-1, ficou a cargo do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), órgão subordinado ao Comando da Aeronáutica.

O desenvolvimento do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1), Figura 4.55, teve o seu início efetivo em 1984, após o primeiro lançamento do foguete de sondagem Sonda IV. O projeto do VLS-1 baseou-se na premissa de que o sistema deveria fazer o uso máximo da tecnologia, dos desenvolvimentos e das instalações já disponíveis no País. As tecnologias não dominadas seriam desenvolvidas no Brasil e, em último caso, adquiridas de outros países.

O VLS-1 é um lançador de satélites convencional lançado a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), situado na cidade

de Alcântara, MA, próximo ao Equador terrestre. A propulsão principal é fornecida por sete propulsores a propelente sólido, divididos em quatro estágios. Das 50 toneladas de massa inicial, 41 toneladas são propelente. Tal se explica pela necessidade de impor a velocidade de 28.000 km/h ao satélite. No instante da decolagem, o VLS-1 possui 19 metros de altura. Uma missão típica do VLS-1 permite a colocação de um satélite de 150 kg numa órbita equatorial de 750 km de altitude. Dessa forma, o VLS-1 seria capaz de colocar em órbita o SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados 1), desenvolvido pelo Inpe.

O 1º estágio é composto por quatro motores. Eles são fixados lateralmente em relação ao corpo central composto pelos 2º, 3º e 4º estágios e pela carga-útil (satélite). Após a combustão do 1º estágio, seus propulsores são descartados e o vôo continua, com o acionamento sucessivo dos propulsores do 2º, 3º e 4º estágios, com as respectivas separações desses estágios, logo que o propelente seja consumido, Figura 4.56. Tipicamente, o tempo de combustão de cada um dos motores é de 60 segundos.



Amery Neto.

Figura 4.56. Estágios do VLS-1.

Com o intuito de controlar o vôo do VLS-1, as tubeiras dos três primeiros estágios são móveis. A cada instante do vôo, um dispositivo denominado plataforma inercial informa ao computador de bordo a atitude do veículo, ou seja, sua orientação em relação a cada um dos eixos de referência. Comparando a atitude real com aquela prevista pelos técnicos que desenvolveram o VLS-1, o computador de bordo comanda o movimento das tubeiras. Essas correções de trajetória são feitas automaticamente durante o vôo, sem que haja a intervenção dos técnicos que, do solo, acompanham o vôo do VLS-1. Ou seja, o VLS-1 é dotado de "inteligência" que lhe permite, em "tempo real", decidir o que fazer.

As fases do vôo do VLS-1

Para a inserção de um satélite em órbita da Terra, é necessária uma série de eventos, todos bastante complexos e que devem ocorrer com enorme precisão.



Amery Neto.

Figura 4.57. Lançamento do VLS-1.

Quando da ignição dos quatro propulsores do 1º estágio do VLS-1, é gerado um empuxo total de cerca de 1.000 kN (aproximadamente cem toneladas), ou seja, duas vezes o peso do VLS-1, Figura 4.57.

Os gases dos propulsores do 1º estágio são expelidos da tubeira a 8.300 km/h.

Com 25 segundos de vôo, o VLS-1 atinge a velocidade do som, ou seja, 1.100 km/h. Tal ocorre numa altitude de 3.200 m.

A literatura aeroespacial define uma grandeza que relaciona a velocidade do veículo à velocidade do som. Trata-se do número de Mach. Portanto, a 3,2 km de altitude, o VLS-1 está voando a Mach 1.



Amery Neto.

Figura 4.58. Separação do 2º estágio, ignição do 3º estágio e ejeção da coifa.

Alguns segundos antes do final de queima dos motores do 1º estágio, é acionada a ignição do propulsor do 2º estágio. Tal visa ao efetivo controle do veículo na fase entre o final de queima dos quatro motores do 1º estágio e a separação destes. Os envelopes-motores do 1º estágio caem no mar e não são recuperados. Os gases de combustão dos propulsores do 2º estágio são expelidos a 10.000 km/h. Durante a queima do 2º estágio, o VLS-1 atinge Mach 8,4. Tal ocorre 118 segundos após o lançamento, a uma altitude de 100 km.

Alguns segundos após a separação do motor do 2º estágio, é acionada a ignição do propulsor do 3º estágio, Figura 4.58. Nesse instante, o VLS-1 já ultrapassou as camadas mais densas da atmosfera

terrestre, que, para todos os efeitos práticos, encontram-se abaixo dos 100 km de altitude. Conseqüentemente, não há mais necessidade da coifa, dispositivo que protege o satélite do atrito com a atmosfera. Com a ejeção da coifa, elimina-se uma massa de cerca de 157 kg, melhorando o desempenho do lançador. Tanto o envelope motor do 2º estágio quanto a coifa caem no mar, próximo à costa do continente africano. Todos esses eventos devem ser cuidadosamente avaliados pelos técnicos que trabalham no VLS-1, como forma de evitar que partes do veículo caiam sobre regiões que possam causar danos a pessoas e a bens materiais.



Amery Neto.

Figura 4.59. Manobra de basculamento do VLS-1.

Aos 193 segundos de vôo, ocorre o fim da queima do motor do 3º estágio, bem como a sua separação. Nesse instante, o VLS-1 encontra-se numa altitude de 243 km e voando a 18.600 km/h. A essa altura, o conjunto Baia de Equipamentos/4º estágio/satélite, Figura 4.59, encontra-se sobre o Oceano Atlântico. É na Baia de Equipamentos que se encontram a plataforma inercial, o computador de bordo e oito micropropulsores responsáveis pelo sistema de basculamento. Considerando-se o plano da Figura 4.59, ainda o conjunto Baia de Equipamentos/4º estágio/satélite está inclinado em 52º em relação à vertical. A ignição do motor do 4º estágio somente ocorre após a separação da Baia de Equipamentos. No entanto, com ela se vai a "inteligência" do VLS-1 e, portanto, somente pode ocorrer após a manobra de basculamento, que visa posicionar o conjunto Baia de Equipamentos/4º estágio/satélite na atitude desejada, qual seja, paralela à superfície terrestre. O princípio de funcionamento dos micropropulsores responsáveis pela manobra de basculamento é semelhante ao dos motores principais, mas, neste caso, o empuxo é gerado pela descarga de nitrogênio pressurizado. A operação de basculamento demora cerca de 60 segundos, podendo consumir cerca de quatro quilogramas de nitrogênio, que são transportados em tanques

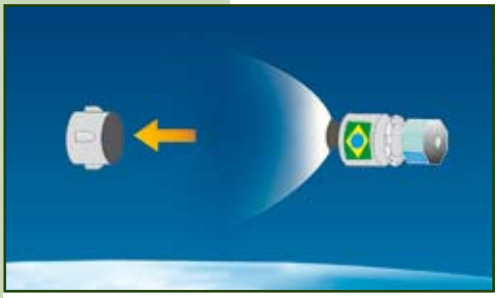
pressurizados na Baia de Equipamentos. Como não se encontra propulsado durante essa fase, há uma redução de velocidade do conjunto, decorrente da ação da força gravitacional.



Amery Neto.

Figura 4.60. Indução de rotação do VLS-1.

Finalizada a orientação do motor do 4º estágio, que a ele tem acoplado o satélite de um lado e a Baia de Equipamentos do outro lado, são acionados os quatro propulsores de indução de rolamento, Figura 4.60, que impõem 180 rotações por minuto, em torno do eixo longitudinal. Tais propulsores fazem uso de 600 gramas de propelente sólido cada, consumidos em dois segundos. Essa rotação é necessária para conferir estabilidade ao sistema, de modo análogo ao que ocorre com os piões. Em uma trajetória típica do VLS-1, a indução de rolamento ocorre após 457 segundos de vôo, quando o VLS-1 está voando a uma velocidade de 15.600 km/h, a 700 km de altitude. Somente neste instante é feita a separação da Baia de Equipamentos, Figura 4.61. Vale ressaltar que desde a separação do motor do 3º estágio não há força propulsiva. Portanto, o que restou do VLS-1 continua subindo por inércia. Em função da gravidade que continua a agir sobre ele, a sua velocidade, que era de 18.580 km/h, foi reduzida para 15.600 km/h.



Amery Neto.

Figura 4.61. Separação da Baia de Equipamentos do VLS-1.

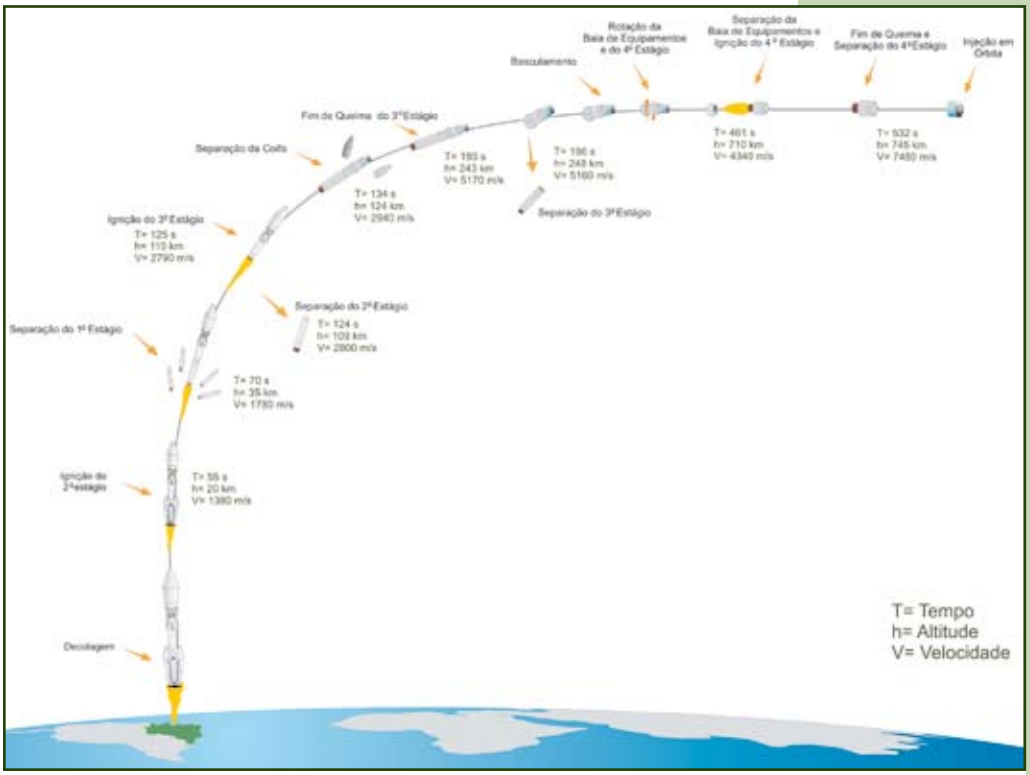


Amery Neto.

Figura 4.62. Separação do satélite.

Depois das manobras de basculamento, indução de rotação e separação da Baia de Equipamentos, o propulsor do 4º estágio é acionado, levando o satélite de 15.600 km/h à velocidade final de 28.000 km/h. Após os 60 segundos de queima do propulsor do 4º estágio, dá-se a separação do satélite do 4º estágio, Figura 4.62. Neste caso, ficam

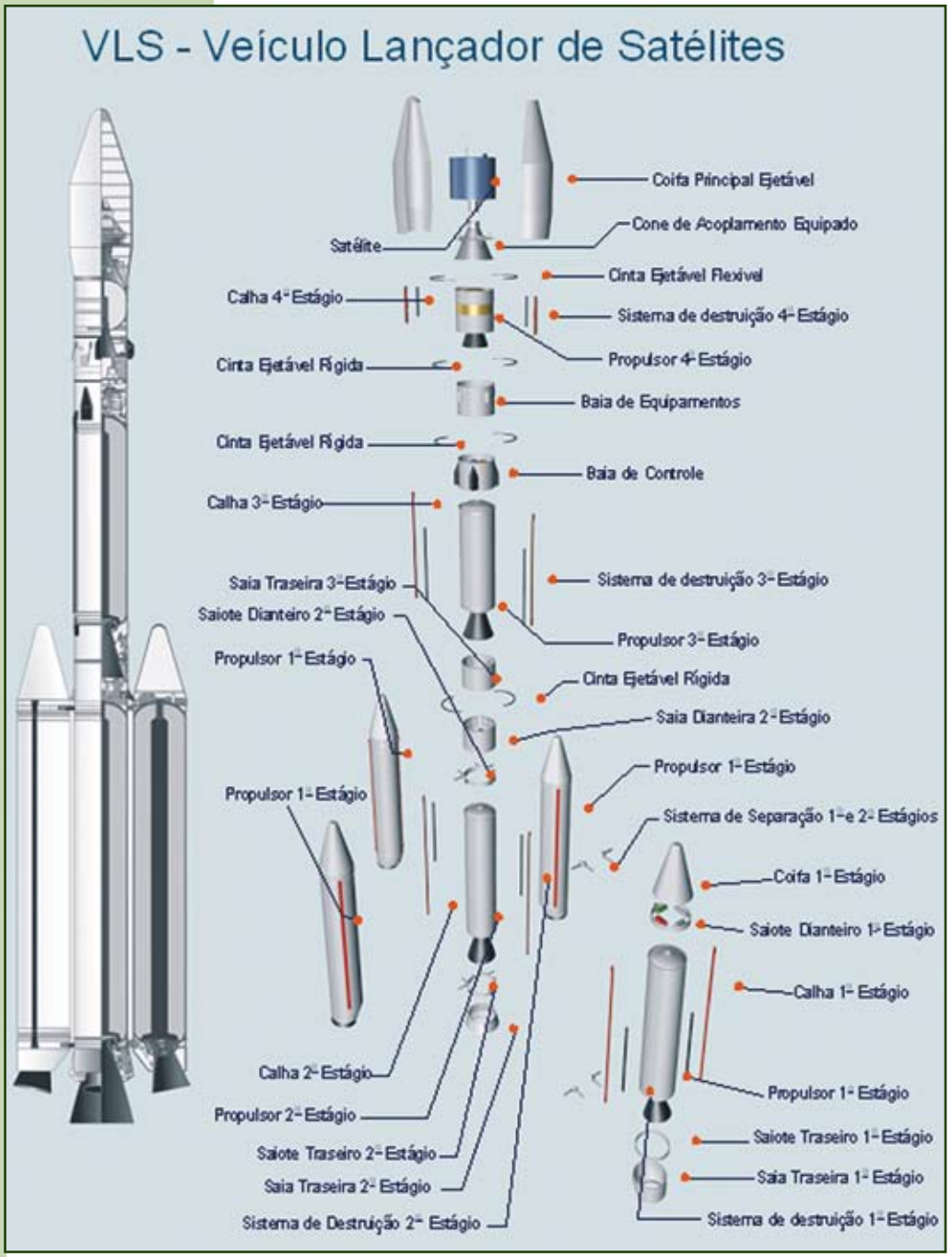
em órbita da Terra o satélite e o envelope-motor do 4º estágio que, vazio, vira lixo espacial.



Amery Neto.

Figura 4.63. Perfil da missão do VLS-1.

Na Figura 4.63 é apresentado o perfil típico do vôo do VLS-1. Podem ser vistos os tempos (T), altitudes (h) e velocidades (V) em que ocorrem os principais eventos de vôo. Por exemplo, a injeção do satélite em órbita da Terra é feita em 532 segundos, ou seja, cerca de nove minutos após a decolagem, em uma altitude de 745 km. A partir desse resumo não é difícil concluir do extraordinário desafio relacionado à colocação de um satélite em órbita da Terra, ainda mais quando se considera que o VLS-1 é composto de 2.000 peças, conforme esquematicamente ilustrado na Figura 4.64. Não é à toa que apenas oito países do mundo detêm a tecnologia de lançamento de satélites.



Amery Neto.

Figura 4.64. Alguns dos milhares de componentes do VLS-1.

OS CENTROS BRASILEIROS DE LANÇAMENTO DE FOGUETES

Salvador Nogueira e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

O primeiro centro de lançamento a se tornar operacional em território brasileiro foi o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), em Parnamirim, ao sul de Natal, RN, que começou a operar em 1965. A partir dele o Brasil lançou centenas de foguetes nacionais e estrangeiros. Todos tinham em comum o fato de serem suborbitais, ou seja, não chegavam a colocar um objeto em órbita da Terra. Na maioria dos casos, seu propósito era o de transportar experimentos para o estudo das altas atmosferas, daí o fato de também serem conhecidos como "foguetes de sondagem". Além de conduzir operações de lançamento de foguetes nacionais, o CLBI participa dos lançamentos dos foguetes franceses Ariane, lançados da Guiana Francesa e rastreados em parte dos seus vôos pelo CLBI.

Com isso estabeleceu-se uma longa tradição de realização desse tipo de missão, que perdura até hoje e é conduzida pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), órgão do Ministério da Defesa.

No final dos anos 1970, quando nasceu a chamada Missão Espacial Completa Brasileira (o lançamento de satélites nacionais por um foguete nacional de uma base também nacional), ficou claro que as instalações necessárias para atividades de lançamento do VLS-1 não poderiam ser atendidas pelo CLBI. Embora já funcionasse com eficiência, a antiga base não tinha mais espaço ao seu redor para se desenvolver, além de ter áreas urbanas muito próximas, que poderiam ser colocadas em risco no caso de uma falha no lançamento.

A Aeronáutica então iniciou estudos para a construção de uma nova base, e o local escolhido foi Alcântara, no Maranhão. Assim, foi criado o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).

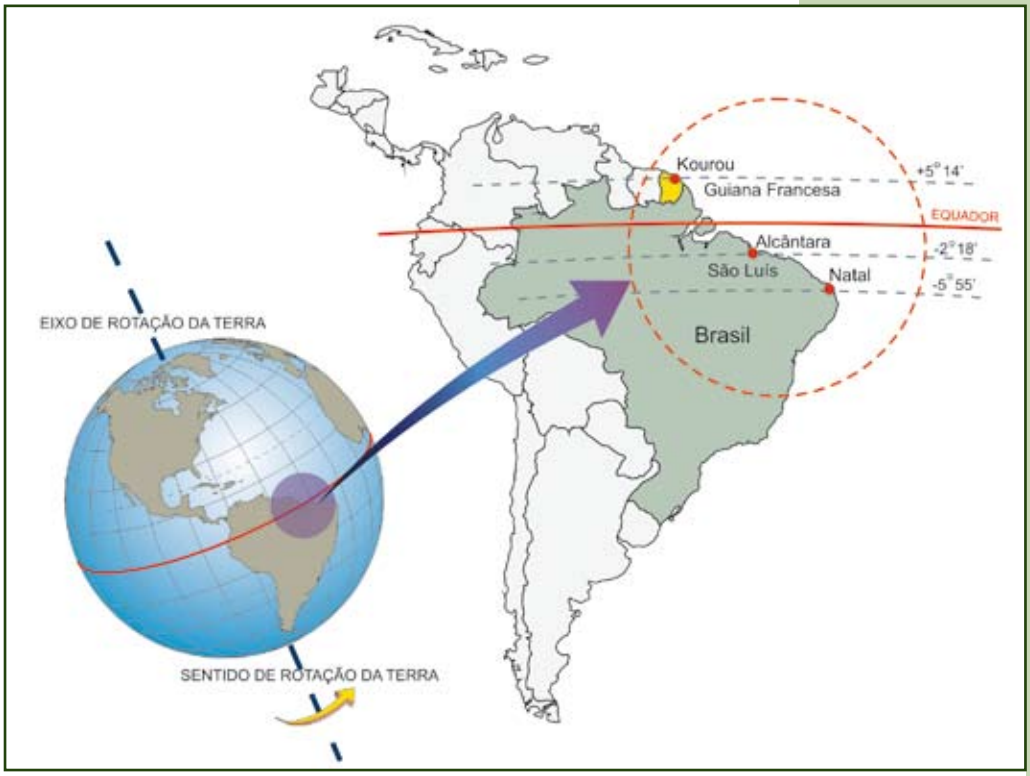
Seria difícil encontrar um lugar no mundo tão adequado. Em primeiro lugar, Alcântara fica muito perto da Linha do Equador, apenas 2 graus e 18 segundos no Hemisfério Sul. Mas qual é a vantagem de se estar localizado próximo ao Equador? Ora, sabe-se que a Terra gira em torno de um eixo que passa pelos pólos Norte e Sul. Isto significa que, quanto mais distante deste eixo, maior a velocidade de um corpo na sua superfície. Os pontos mais distantes deste eixo estão sempre sobre o Equador.

Por outro lado, para que um satélite seja colocado em órbita, ele precisa ganhar uma grande velocidade, independentemente do ponto de onde seja lançado. No entanto, se o ponto de partida estiver próximo do Equador, ele já sai com a velocidade daquele ponto. Isso barateia substancialmente os lançamentos, quando se compara a outros pontos de lançamento na Terra, por ser necessário um foguete menor, ou por ser possível colocar em órbita um satélite maior.

Para entender melhor esse fenômeno, basta girar um globo para ver que um ponto no Equador tem de dar uma volta muito maior que um ponto perto do pólo, embora ambos os pontos completem a volta ao mesmo tempo – o que denota uma velocidade maior do chão nas regiões equatoriais. É por essa razão que russos e americanos tentaram desenvolver seus principais centros de lançamento (Baikonur e Cabo Canaveral) o mais perto possível da Linha do Equador. No entanto, nenhum desses países tinha uma localização tão favorável quanto Alcântara.

Hoje, o único ponto de lançamento de foguetes que está mais próximo da Linha do Equador que Alcântara é o chamado Sea Launch – uma plataforma de petróleo marinha transformada em base de lançamentos por um consórcio de países que inclui Estados Unidos e Rússia. Embora ela possa se deslocar pelo oceano e se postar onde bem entender, a vantagem do posicionamento é diminuída

pelo alto custo de manutenção da instalação, além das dificuldades iminentes ao transporte do foguete e do seu combustível.



Amery Neto.

Figura 4.65. Mapa mostrando a região norte da América do Sul, localizando Alcântara e Kourou.

Excluído o Sea Launch, o principal competidor da base brasileira é o centro de Kourou, na Guiana Francesa – ele está localizado a 5 graus e 3 segundos do equador, mas na direção do Hemisfério Norte. É de lá que partem os foguetes da empresa francesa Arianespace (principal companhia de lançamentos de satélite comerciais), e os russos recentemente estabeleceram uma parceria com a Agência Espacial Européia (ESA) para fazer decolar de lá lançadores da linha Soyuz.

Mas Alcântara tem, além da localização, algumas vantagens adicionais. A disposição da península em que ela está localizada, na baía de São Marcos, permite lançamentos em todos

os tipos de órbita, desde as equatoriais às polares, e as regiões onde cairiam os vários estágios dos foguetes lançadores ficam no mar. Como fator de segurança adicional, a região tem baixa densidade demográfica e espaço para ampliação da base, possibilitando a existência de diversos portais para foguetes diferentes.

Finalmente, Alcântara também apresenta vantagens climáticas. O clima estável, com regime de chuvas bem definido e ventos em limites aceitáveis, torna possível o lançamento de foguetes em praticamente todos os meses do ano.

Resumindo: é difícil encontrar outro lugar no mundo tão propício à instalação de uma base de foguetes. Foi apostando nisso que, em 1983, a Aeronáutica criou ali o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA).

De início, a base foi usada para lançamentos de pequeno porte, como os foguetes de sondagem brasileiros, e como ponto de partida para as tentativas de lançar o VLS-1. Mas já existem planos bastante avançados para converter o CLA numa instalação maior e mais sofisticada, que passaria a se chamar Centro Espacial de Alcântara. De lá, além dos foguetes brasileiros, haveria espaço para a cooperação internacional, de modo que o Brasil tenha chance de abocanhar parte do lucrativo mercado de lançamentos de satélites comerciais.

A comercialização de serviços de lançamento de satélites no Brasil

Em 2003, a Agência Espacial Brasileira (AEB) firmou uma parceria com a Ucrânia (uma das ex-repúblicas soviéticas), detentora de avançada tecnologia de mísseis balísticos e, por conseqüência, lançadores de satélites. A idéia era reunir as vantagens da posição de Alcântara à capacitação tecnológica dos ucranianos, desenvolvendo uma empresa binacional que explorasse o lançamento comercial de satélites.

O acordo entre as duas nações prevê que será utilizado o lançador Ciclone-4, o mais avançado da reconhecida família Ciclone de foguetes ucranianos. Ele poderá colocar até 5,5 toneladas numa órbita baixa, ou 1,7 toneladas em uma órbita geoestacionária, mais útil aos satélites comerciais.

A despeito da parceria, e da disponibilidade do foguete para lançamentos nacionais, ele continuará sendo produto de outro país, e não garante, em longo prazo, autonomia do Brasil no acesso ao espaço.

O astronauta brasileiro

O Brasil também tem um acordo de cooperação com os Estados Unidos na construção da Estação Espacial Internacional – iniciativa que colocou o País no rol das nações que realizam missões com astronautas. O escolhido foi o piloto da Força Aérea Brasileira Marcos Cesar Pontes (1963-), que também é engenheiro formado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Em 1998, Pontes iniciou o seu treinamento na Nasa. Tendo em vista as dificuldades do Brasil em participar da construção da ISS nos níveis inicialmente previstos, a significativa redução no número de vôos do ônibus espacial (em decorrência do acidente com o Columbia, em fevereiro de 2003) e as dezenas de astronautas americanos também desejosos de ir ao espaço, eram pequenas as chances de o tenente-coronel Pontes ir à ISS a bordo de um ônibus espacial americano. Considerando-se esses fatos, bem como o centenário do vôo do 14-Bis, em 23 de outubro de 2006, o governo brasileiro, por meio da Agência Espacial Brasileira (AEB), aceitou o oferecimento dos russos para levar o astronauta brasileiro à ISS. A viagem de Pontes foi batizada de Missão Centenário, em homenagem ao genial Santos Dumont.

Era noite do dia 29 de março de 2006, horário de Brasília (manhã do dia seguinte no Cazaquistão). Marcos Pontes foi conduzido

ao foguete Soyuz [que significa união, em russo] por uma lenda viva. Seu nome: Valentina Tereshkova, que, em junho de 1963, tornou-se a primeira mulher a entrar em órbita da Terra, onde permaneceu por três dias.

Uma vez na ISS, Pontes realizou oito experimentos desenvolvidos por universidades, centros de pesquisa e escolas brasileiras, participantes do Programa Microgravidade e do Programa AEB Escola, ambos patrocinados pela Agência Espacial Brasileira. Foram eles:

1. Efeito da microgravidade na cinética das enzimas.
2. Danos e reparos do DNA na microgravidade.
3. Teste de evaporadores capilares em ambiente de microgravidade.
4. Minitubos de calor.
5. Germinação de sementes em microgravidade.
6. Nuvens de interação proteica.
7. Germinação de sementes de feijão.
8. Cromatografia da clorofila.

Os experimentos Germinação de Feijão e Cromatografia da Clorofila foram desenvolvidos por alunos e professores do ensino fundamental da Secretaria de Educação de São José dos Campos, SP.



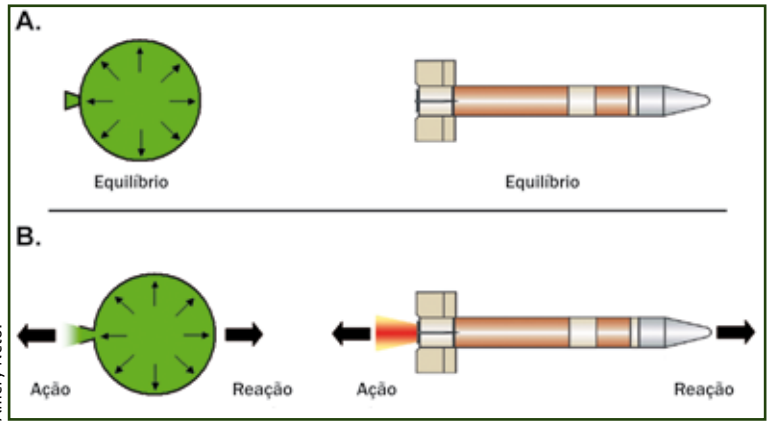
Para saber mais sobre os experimentos realizados por Marcos Pontes, acesse: http://www.aeb.gov.br/missaocentenario/ (Experimentos Científicos).

À medida que o astronauta executava os experimentos na ISS, alunos e professores o acompanhavam, realizando os experimentos na Terra. Este acompanhamento, em "tempo real", foi possível graças ao envio por Pontes, via correio eletrônico, das fotos digitais tiradas a bordo da ISS. Detalhes sobre os experimentos das escolas, incluindo os resultados, podem ser obtidos no sítio www.las.inpe.br/microg/.

A TEORIA DOS FOGUETES

Danton José Fortes Vilas Bôas (IAE/CTA) e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

O princípio de funcionamento dos foguetes é o mesmo observado ao se brincar com um balão de látex (balão de aniversário) cheio de ar. Se o bico do balão é mantido fechado, há a situação de equilíbrio e nenhum movimento do balão é observado. Trata-se da situação ilustrada esquematicamente no item a da Figura 4.66. No entanto, ao se permitir a passagem de ar através do bico do balão, esta se move no sentido contrário ao de escape do ar, situação esta ilustrada no item b da Figura 4.66. Ao escape dos gases através do bico denomina-se "ação", enquanto o movimento do balão corresponde à "reação". Na prática, como o bico do balão não é fixo, o seu movimento se dá de uma maneira aleatória, isto é, em ziguezague. Em que pese simples, este é o princípio de funcionamento dos foguetes e dos motores a jato dos aviões. É também o princípio de funcionamento do carro-foguete de corrida descrito na atividade "Construindo um Carro-Foguete" (Figura 4.80).



Amery Neto.

Figura 4.66A e B. Balão de látex (balão de aniversário) e foguete.

Em um foguete, o balão é substituído por uma cavidade, geralmente de forma cilíndrica, enquanto o bico é substituído por um dispositivo denominado tubeira. Nos foguetes, os gases de escape são gerados pela queima do combustível. Na engenharia de foguetes, o combustível e o oxidante são denominados propelentes e o processo de combustão é comumente referido como queima. Há combustíveis sólidos, como a pólvora, e líquidos, como o querosene.

Tendo inventado a pólvora no século 11, coube aos chineses a invenção dos foguetes a propelente sólido. Ainda que a teoria fosse desconhecida, os resultados impressionavam e não tardou para que os próprios chineses fizessem, no século 13, uso bélico da sua invenção. Passaram-se quatro séculos até que o inglês Isaac Newton formalizasse a teoria que explicaria o princípio de funcionamento dos foguetes, qual seja o da ação e reação, conhecido como a Terceira Lei de Newton.

A força de ação que impulsiona o foguete é chamada empuxo. A intensidade dessa força depende, dentre outros fatores, da quantidade e da velocidade de escape dos gases através da tubeira. Ao escaparem através da tubeira, os gases geram uma força de empuxo ("ação") que desloca o foguete em sentido contrário ("reação").

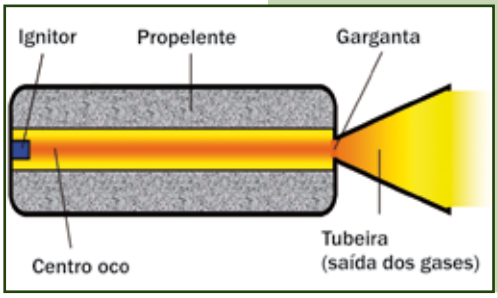
Para facilitar a comparação com os balões, os foguetes da Figura 4.66 foram representados horizontalmente. Na prática, os foguetes são posicionados na vertical. Tal fato traz conseqüências importantes. A principal delas diz respeito à ação da força da gravidade, que atua no sentido de manter o foguete no solo. Para ilustrar, considere o foguete VLS-1 com um peso de 50 toneladas. Para tirá-lo do solo, é necessário um empuxo (força) superior a 50 toneladas. Enquanto a força de empuxo gerada pela queima dos quatro motores do 1º estágio do VLS-1 (veja Veículo Lançador de Satélites) for inferior à força peso, o VLS-1 não se moverá um único milímetro na direção vertical. No entanto, ao atingir o regime de operação nominal, os quatro propulsores do VLS-1 geram um empuxo de cem toneladas. Considerando-se que a força de empuxo seja constante e que a massa do VLS-1 diminua à razão de meia tonelada por segundo

(em função da queima do propelente), o VLS-1 é continuamente acelerado na direção vertical. Foi também Isaac Newton que formalizou este conceito por meio da Segunda Lei de Newton.

Propulsão sólida

O propelente sólido consiste de uma mistura de alumínio em pó (16% em massa), perclorato de amônia (NH_4ClO_4, 70% em massa), polibutadieno hidroxilado (12% em massa) e agentes de cura (2% em massa). O alumínio age como combustível, enquanto o perclorato de amônia age como oxidante. O combustível e o oxidante, na forma de uma mistura pastosa, são inseridos no envelope-motor, que funciona como molde. Após a cura, o propelente tem consistência semelhante a uma borracha dura. Posteriormente, são instalados o ignitor e a tubeira, obtendo-se o motor-foguete. Sob condições de pressão e temperatura ambiente, não há combustão. A combustão se inicia quando o propelente é exposto a uma fonte externa de calor, a qual provém do ignitor, instalado normalmente em uma das extremidades do motor, conforme mostrado na Figura 4.67. Por voarem no vácuo do espaço, os motores-foguete carregam consigo o oxidante necessário à combustão. No caso dos motores-foguete a propelente sólido, oxigênio necessário à queima do combustível provém do perclorato de amônia.

Dada a ignição, inicia-se a queima do combustível no interior da câmara de combustão fazendo com que gases a alta pressão e temperatura sejam gerados. Vale destacar a existência de uma região ôca no interior do propulsor, ilustrada na Figura 4.67. Dessa forma, o propelente é queimado de dentro para fora, ao longo de todo o seu comprimento.



Danton Villas Bôas.

Figura 4.67. Vista em corte longitudinal de um propulsor sólido.

Os motores-foguete que utilizam propelente sólido são de construção e operação mais simples do que aqueles que fazem



Danton Villas Bôas.

Figura 4.68. Vista em corte do motor-foguete S44 (sem tubeira), utilizado como 4º estágio do VLS-1.

uso de propelentes líquidos. Podem também ser armazenados por vários anos. Em contrapartida, são menos eficientes que os líquidos e, uma vez iniciada a combustão, não há como interrompê-la.

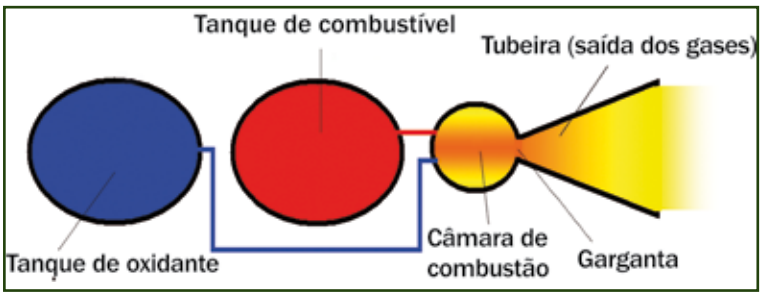
Os motores-foguete a propelente sólido podem variar enormemente em termos de dimensões e aplicações. Por exemplo, enquanto os quatro propulsores do primeiro estágio do VLS-1 carregam 7.000 kg de propelente, os quatro propulsores de indução de rolamento transportam 0,6 kg cada.

Propulsão líquida

Em um propulsor líquido, Figura 4.69, o combustível e o oxidante são armazenados em tanques separados. Quando injetados na câmara de combustão, ocorre a ignição, combustão e geração de gases. Querosene e hidrogênio são largamente utilizados como combustíveis de foguetes, enquanto o oxigênio é o oxidante mais comum. Como necessitam de grandes quantidades de combustível e oxidante, os foguetes devem transportá-los na fase líquida. Quanto ao querosene, não há maiores problemas, uma vez que ele se apresenta na fase líquida sob as condições de pressão e temperatura ambiente. No entanto, para que existam na fase líquida, tanto o hidrogênio quanto o oxigênio precisam estar a temperaturas criogênicas, ou seja, -150ºC para o oxigênio e -250ºC para o hidrogênio. É por isso que, quando do lançamento de foguetes como o Soyuz e o Saturno V, observa-se o desprendimento de placas da sua superfície externa. Tratam-se de placas de gelo formadas pela solidificação do vapor d´água existente no ar atmosférico. Em decorrência das dificuldades em operar com temperaturas tão baixas (criogênicas), os tanques contendo hidrogênio e oxigênio líquidos são carregados somente algumas horas antes do lançamento.

O foguete americano Saturno V, que levou o homem à Lua, fazia uso do par propelente oxigênio-querosene no primeiro estágio

e oxigênio-hidrogênio no segundo e terceiro estágios. Já o foguete russo Soyuz, que levou o astronauta brasileiro à ISS, e é muito parecido com o foguete que colocou o Sputnik em órbita da Terra, faz uso do par oxigênio-querosene.



Danton Villas Bôas.

Figura 4.69. Propulsor líquido.

Além do problema do armazenamento a temperaturas criogênicas, o uso do oxigênio e do hidrogênio líquidos requer um sistema de ignição. Em algumas aplicações estes podem ser fatores limitantes. Imagine, por exemplo, o caso do módulo lunar, no qual o combustível precisaria ficar armazenado por vários dias e no qual uma falha do propulsor deixaria os astronautas na superfície lunar entregues à própria sorte. Neste caso, os projetistas fizeram uso de propelentes hipergólicos que entram em combustão pelo simples contato entre o combustível e o oxidante.

Há foguetes movidos inteiramente a propelentes hipergólicos. É o caso, por exemplo, dos veículos lançadores ucranianos Ciclone 4.

Propulsão híbrida

Existe um ramo da engenharia de foguetes que estuda o uso, em um mesmo motor-foguete, de propelente sólido e propelente líquido. Trata-se da propulsão híbrida. Como exemplo, pode-se citar o motor-foguete produzido para o SpaceShipOne, veículo espacial que, em 4 de outubro de 2004, ganhou o Prêmio X por ter se tornado a primeira espaçonave tripulada construída por uma empresa privada a alcançar, por duas vezes, num período de 14 dias, a altitude de 100 km. Neste caso, o propulsor tem uma geometria similar àquela mostrada na Figura 4.67, mas o bloco

de propelente contém apenas o combustível, conhecido pela sigla HTPB. O oxidante líquido (óxido nitroso, N_2O) é armazenado em um tanque separado e injetado na câmara de combustão.

Propulsão sólida × Propulsão líquida

Apesar de mais eficientes, isto é, produzirem mais empuxo para uma mesma massa de propelente, a tecnologia necessária à fabricação de motores-foguete a propelente líquido é mais complexa que aquela dos propulsores sólidos. Para bombear o combustível e o oxidante para a câmara de combustão são necessárias potentes bombas, cuja potência provém de turbinas. Para que tais propulsores sejam confiáveis são necessários recursos humanos, financeiros e de infra-estrutura de grande monta.

Outra vantagem da propulsão líquida está relacionada à possibilidade de iniciar e interromper a combustão várias vezes. Para tanto, basta cessar o ingresso de combustível na câmara de combustão. Essa característica melhora sobremaneira a precisão de inserção em órbita de satélites.

É importante frisar que o uso de propulsores sólidos e líquidos em um mesmo foguete é bastante comum. O ônibus espacial americano é o exemplo mais conhecido. Quando da decolagem são utilizados, como propulsão auxiliar, dois enormes motores-foguete a propelente sólido, com 485 toneladas de propelente cada, que funcionam por dois minutos. Como propulsão principal são utilizados três motores-foguete que, em oito minutos, consomem 550.000 litros de oxigênio e 1.500.000 litros de hidrogênio. Os motores líquidos também são acionados simultaneamente aos sólidos. O ônibus espacial propriamente dito vai preso, pela barriga, aos tanques de oxigênio e hidrogênio.

O Brasil domina todo o ciclo de produção de motores-foguete a propelente sólido. Por isso, os foguetes de sondagem brasileiros, bem como todos os propulsores do VLS-1, fazem uso da propulsão sólida. Recentemente, o País deu início ao estudo e desenvolvimento da tecnologia da propulsão líquida.

A FICÇÃO CIENTÍFICA VIRANDO FATO CIENTÍFICO

Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA) e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

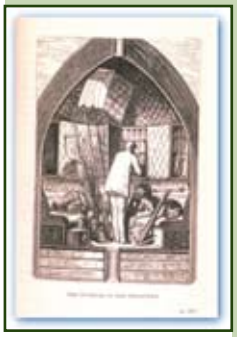
A leitura das obras de Verne "Da Terra à Lua" (1865) e "Ao Redor da Lua" (1870) deixa o leitor impressionado pelas similaridades com o que ocorreria um século depois, por ocasião da chegada do homem à Lua, tais como:

- Júlio Verne, um francês, anteviu que se alguma nação porventura realizasse similar façanha, ela seria a americana.
- Na noite do dia 05 de outubro de 1865, em uma concorrida assembléia do Clube do Canhão, em Baltimore, próximo a Washington D.C., o presidente Barbicane, 40 anos de idade, propunha usar o conhecimento acumulado durante a Guerra Civil (1861-1865) para lançar, por meio de um canhão, um projétil em direção à Lua.
- Na noite do dia 25 de maio de 1961, em plena Guerra Fria, o então presidente americano John Kennedy, aos 43 anos, estarreceu a opinião pública mundial ao anunciar, perante uma sessão conjunta do Congresso Americano, em Washington D.C., que até o final daquela década os americanos levariam o homem à Lua e o trariam de volta.
- Da mesma forma que a Missão Apollo, a viagem lunar proposta por Barbicane foi acompanhada de perto pela imprensa e população do planeta.
- O projétil proposto por Barbicane foi arremessado em direção à Lua por um canhão denominado Columbia. No seu interior iam, além do próprio Barbicane, Nícoles e Ardan. Columbia foi o nome do módulo de comando da missão



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.70. Módulos de comando e serviço da Apollo.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 4.71. Interior do projétil de Verne.

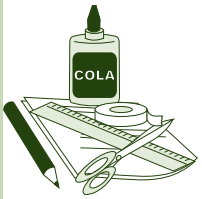
Apollo 11, que levou 3 homens à Lua em 1969. Eram eles: Armstrong, Aldrin e Collins.

- O projétil de Verne era feito em alumínio e pesava 8.730 kg. O Columbia da Apollo 11 era predominantemente feito em alumínio e pesava 11.920 kg. Ambos tinham o formato cilindrico-cônico.
- Tanto o projétil de Verne quanto aqueles das missões Apollo foram lançados do estado da Flórida, EUA.
- Para avaliar os efeitos da aceleração do lançamento sobre os animais, Verne usou um gato e um esquilo. Os americanos utilizaram-se de macacos.
- Dentre as visões que Barbicane, Nícoles e Ardan tiveram ao circunavegarem a Lua, ressalte-se o Mar da Tranqüilidade, situado próximo ao equador lunar, local onde a Apollo 11 pousou em 1969.
- O conceito de retrofoguetes imaginados por Verne para atenuar o impacto na alunissagem foi utilizado pela Apollo 11 para permitir o pouso suave de Armstrong e Buzz Aldrin na Lua, em 20 de julho de 1969.
- Tendo em vista a não possibilidade de chegarem à Lua, os retrofoguetes imaginados por Verne foram utilizados para permitir o regresso de Barbicane, Nícoles e Ardan à Terra. O mesmo ocorreu em 1970, quando a tripulação da Apollo 13, avariada por uma explosão, fez uso dos retrofoguetes para retornar à Terra.
- Lançada em 01 de dezembro de 1866, Barbicane, Ardan e Nícole caíram no oceano Pacífico. A viagem demorou 242 horas e 31 minutos, incluindo 48 horas em órbita ao redor da Lua. O resgate foi efetuado pela corveta da Marinha dos EUA denominada Susquehanna. Um século depois, a Apollo 8 foi lançada cerca de 231 km distante do local de lançamento de Verne. Após uma jornada de 147 horas e um minuto, Borman, Anders e Lovell, foram recuperados no oceano Pacífico, tendo sido resgatados pelo navio da Marinha americana Hornet.

- Da mesma forma que os astronautas da Apollo 11, Barbicane, Nícoles e Ardan tiveram uma recepção apoteótica quando do seu retorno.

É claro que algumas dessas semelhanças são meras coincidências, mas é fato que Júlio Verne fez uso dos conhecimentos de física, astronomia, química e matemática disponíveis à sua época para escrever o livro. Não custa lembrar que um dos objetivos do editor das obras de Verne, Pierre-Jules Hetzel, era usar a sua obra como forma de passar ensinamentos aos leitores. Portanto, não é à toa que "Da Terra à Lua" e "Ao Redor da Lua" inspiraram homens como o russo Konstantin Tsiolkovsky e o brasileiro Santos Dumont.

E para que tudo não pareça perfeito, vale a pena mencionar alguns aspectos do livro de Verne que não encontram fundamentos na teoria e na prática conhecidas. O primeiro deles diz respeito à possibilidade de um canhão imprimir velocidade de 11 km/s a um projétil, quase que instantaneamente, conforme proposto por Verne. De fato, a aceleração seria tão elevada que mataria todos os seres vivos no interior do projétil. Também implausíveis foram as situações nas quais Barbicane, Ardan e Nícoles abriam rapidamente a escotilha da sua espaçonave para "jogar fora" detritos por eles gerados, bem como o corpo de Satélite (cachorra morta como conseqüência do lançamento). O mesmo vale para o uso de termômetros para obter a temperatura fora do projétil. Outro aspecto no qual Verne não logrou êxito foi imaginar que somente no ponto neutro entre a Terra e a Lua haveria a sensação de falta de gravidade. Em realidade, vencida a atmosfera terrestre e considerando-se o não acionamento de propulsores, os astronautas encontram-se sob a sensação de ausência de peso.



ATIVIDADES

COMPRESSÃO E DESCOMPRESSÃO

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Apresentação

O corpo humano está habituado a viver sob uma determinada pressão, que é aquela que sentimos ao nível do mar e que chamamos de 1 atmosfera. Nas atividades aeroespaciais, estamos fora da atmosfera terrestre, então precisamos cuidar para que estejamos sempre à pressão atmosférica. Nestes simples experimentos demonstramos o efeito de variarmos a pressão sobre um corpo não rígido.

Objetivo

Demonstrar o que ocorre com um corpo não-rígido, tal como nosso corpo, ou um balão de látex quando fazemos variar a pressão.

Sugestão de problematização

Iniciar a atividade questionando os alunos sobre o que eles entendem por pressão. Pedir exemplos de pressão (pressão dos pneus, do sangue, de um mergulhador, de um piloto de avião ou de um astronauta).

Materiais

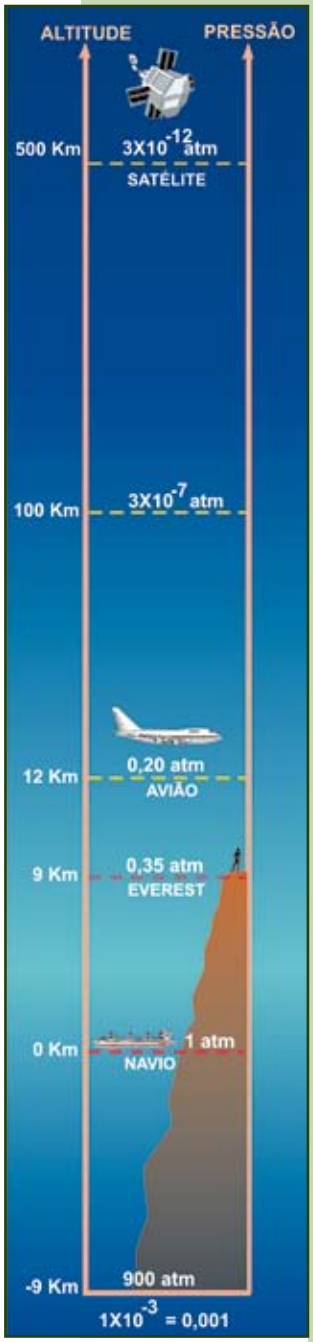
- 1 garrafa PET (maior ou igual a 1,5 litro) e sua respectiva tampa
- 1 garrafa PET tipo balãozinho e sua respectiva tampa
- 1 garrafa de vidro transparente, pequena e sua respectiva tampa

- 1 m de mangueira de aquário ou similar, divida em dois pedaços de 50 cm cada
- 3 balões de látex (balão de aniversário) pequenos
- 1 tesoura
- 1 martelo
- 1 prego
- 1 cola araldite©
- 1 seringa
- 1 bomba de encher bolas ou pneus

Procedimentos

Experimento 1 – Compressão e descompressão usando garrafas PETs

1. Furar as duas tampas das garrafas PET com um diâmetro ligeiramente menor do que o diâmetro da mangueira de aquário. O furo pode ser feito com um prego e martelo e depois alargado com a ponta da tesoura. É só ir aumentando do diâmetro do furo lentamente para que fique ligeiramente menor que o diâmetro da mangueira. Corte as pontas da mangueira de forma diagonal. Assim, fica muito mais simples fazer a ponta da mangueira passar pelo apertado furo das tampas. Se a mangueira não atravessar as tampinhas bem apertado, pode-se usar cola araldite© nos lados internos e externos das tampinhas no local em que esta foi atravessada pela mangueira.
2. Conectar as duas garrafas PET por meio da mangueira que têm presa em suas extremidades, as tampinhas. Vide a Figura 4.73.
3. Colocar dentro da garrafa balãozinho um balão de látex, bem pequeno, parcialmente inflado e com o seu bico bem preso à extremidade da mangueira.



Amery Neto.

Figura 4.72. Variação de pressão com a altitude.



Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 4.73. Efeitos da variação da pressão.

4. Depois de conectadas as garrafas, amassar a garrafa grande (pisando sobre ela, por exemplo) de maneira que o ar seja transferido para a garrafa menor, aumentando-se nele a pressão. Será facilmente visível que o balão de látex também será comprimido, reduzindo o seu volume, mostrando assim o que ocorreria com o corpo humano sob um aumento de pressão. Por esta razão, mergulhadores só podem submergir poucos metros na água e mesmo os submarinos têm um limite de segurança a partir da qual eles não podem mais descer, sob o risco de ser esmagados pelo acréscimo de pressão.

5. Por outro lado, ao soltarmos a garrafa que estava amassada veremos que o balão de látex infla-se novamente devido ao decréscimo da pressão, ilustrando assim o que ocorreria com o corpo humano que, estando acostumado a uma determinada pressão, fosse transferido para outro local com menor pressão, ou seja, nosso corpo também se inflaria e explodiríamos. Por esta razão, os aviões quando em vôo, estão pressurizados, ou seja, estão com a mesma pressão que temos quando na superfície da Terra, pois, voando a altas altitudes, a pressão é muito menor. Com os astronautas a situação é similar, ou seja, se saírem das naves (que estão pressurizadas), deverão usar uma roupa especial que os mantenham pressurizados. Caso contrário, eles morrem.

Devido ao baixíssimo custo do experimento e simplicidade de confecção, os alunos podem ser estimulados a fazer cada um o seu experimento. Pode-se inclusive usar duas garrafas PET de mesmo tamanho, pois não é necessário o uso da garrafa PET balãozinho, podendo variar o volume inicial do balão de látex que está dentro da garrafa e, com isso, desafiar os alunos a fazerem montagens alternativas que ilustrem o mesmo fenômeno.

Experimento 2 – Compressão e descompressão usando uma bomba

Neste experimento o custo é ligeiramente maior, pois usa-se uma bomba de encher bolas ou pneus. Por isso, o efeito da pressão ou descompressão sobre o balão de látex é muito mais pronunciado.

1. Usar a mesma montagem já descrita no experimento anterior, porém furar o fundo da garrafa PET que não contém o balão com um prego aquecido e inserir ali o bico metálico que está na mangueira acoplada à bomba.

2. Ao bombear, veremos o quanto o balão será comprimido, mostrando assim o que ocorre com o corpo humano se ele for submetido a grandes pressões, tal como aquela que existe no fundo dos oceanos, ou na atmosfera de Vênus.

3. Ao desenroscar uma das tampas, veremos o que ocorre com o corpo humano ao ser submetido a uma descompressão. Ele aumentará de volume até explodir. Por isso, os astronautas, quando saem dos seus veículos espaciais, precisam usar roupas devidamente pressurizadas. Situação similar a uma missão tripulada a Marte, onde a pressão é cem vezes menor que a nossa pressão atmosférica.



Figura 4.74. Experimento 2 montado.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Observação: Uma versão ainda mais simples pode ser feita usanda somente uma garrafa PET com o balão parcialmente inflado dentro dela e conectando o bico da bomba diretamente no fundo da garrafa.

Experimento 3 – Descompressão

Neste experimento podemos descomprimir continuamente o balão de látex, retirando o ar de dentro de um frasco de vidro com o uso de uma seringa.



Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 4.75. Montagem do Experimento 3.

1. Introduzir um balão de látex pequeno, inflado parcialmente, em uma garrafa pequena de vidro.
2. Conectar à tampa da garrafa, tal como explicado no Experimento 1, uma mangueira de aquário, à qual, por sua vez, conectamos à ponta de uma seringa grande.
3. Puxar o êmbolo da seringa para retirar o ar da garrafa. Observar que o balão, que estava apenas parcialmente inflado, aumentará de volume, ilustrando assim que ocorreria ao astronauta, caso este se expusesse ao ambiente espacial sem o seu traje pressurizado.

   Vale ressaltar que, para observar o aumento do volume do balão de látex, poderá ser necessário repetir este procedimento algumas vezes. Para tanto, depois que o êmbolo da seringa estiver todo puxado, dobre a mangueira e desacople a seringa, feche o êmbolo e, então, conecte-a novamente na mangueira e retire mais um pouco de ar da garrafa. Leve o êmbolo da seringa à posição original e reconecte a seringa à mangueira. Desdobre a mangueira e repita o procedimento.

Orientações complementares

Devido ao baixo custo dos experimentos, cada aluno pode fazer o seu próprio experimento. Podem, ainda, usar garrafas maiores, com balões de látex maiores etc.

Possíveis desdobramentos

Pode-se também, a partir destas atividades, pedir que os alunos pesquisem sobre os detalhes da construção da roupa dos astronautas, para saberem como ela é fabricada para garantir a sobrevivência deles. É preciso ressaltar que, além do problema da variação de pressão, no vácuo do espaço não há o oxigênio necessário à respiração humana. Conseqüentemente, além de trajes pressurizados, os astronautas precisam carregar um suprimento de oxigênio. Outro sério problema está relacionado à radiação nociva à qual os astronautas ficam submetidos no vácuo do espaço. Para completar, existe o problema da variação de temperatura. Por exemplo, se preso a uma espaçonave que orbita a Terra, o astronauta dará uma volta em torno da Terra a cada 90 minutos. Neste intervalo ele estará submetido à radiação solar e ao vácuo do espaço. Nessa situação é um grande desafio manter as condições adequadas de temperatura.



Amery Neto.

Figura 4.76. O quente e o frio do espaço.

LANÇAMENTO DE FOGUETES POR IMPULSÃO

João Batista Garcia Canalle (Uerj), Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj), Pâmela Marjorie Correia Coelho (Uerj) e Eduardo Oliveira Ribeiro de Souza (Uerj).

Apresentação

Foguetes são veículos espaciais que podem levar cargas e seres humanos para fora da atmosfera da Terra. O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) está construindo o foguete chamado VLS-1, Veículo Lançador de Satélites. Com ele poderemos colocar pequenos satélites ao redor da Terra, sejam eles do Brasil ou de outros países.

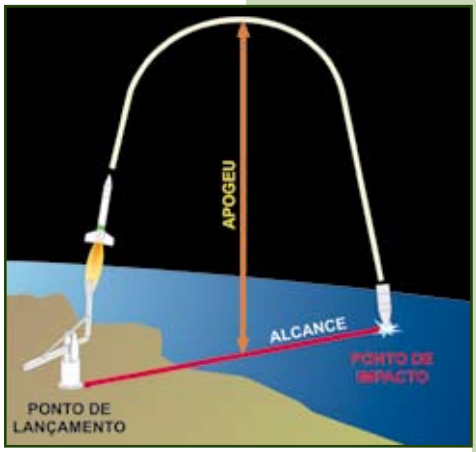
Os foguetes funcionam queimando combustível sólido ou líquido e ejetando o resultado desta queima em altíssima velocidade na direção oposta àquela em que se quer que o foguete vá. Este é o princípio de uma famosa lei da física chamada "Ação e Reação". Nesta atividade não vamos usar este princípio. Vamos lançar foguetes por "impulsão". Ao mesmo tempo, programar a organização de uma "Olimpíada de Foguetes" a ser realizada no âmbito da turma ou da escola.

Objetivos

1. Construir e lançar foguetes por impulsão.
2. Descobrir como maximizar o alcance variando, por exemplo, o ângulo de lançamento, colocando "nariz" no foguete, variando o centro de massa do foguete, usando empenas etc.

Sugestão de problematização

Propor aos alunos que descubram qual é a forma da trajetória, quais as forças que atuam sobre o foguete durante seu vôo e como minimizá-las.



Amery Neto.

Figura 4.77. Alcance e apogeu.

Materiais

- 2 canudos, sendo um fino e um grosso
- 1 palitos de fósforo
- 1 garrafa PET, com tampa
- 1 tesoura
- 1 cola ou fita adesiva para fixar as empenas (opcional)

Procedimentos

1. A Olimpíada de Foguetes.

   Sugerimos que sejam convidados todos os alunos e todos os professores da escola para participar da Olimpíada de Foguetes.

   A seguir apresentamos algumas orientações gerais sobre como construir e lançar um "foguete" constituído de um simples canudinho de refrigerante. Todos os alunos (ou grupos de alunos) e professores (ou grupo de professores) deverão construir e melhorar o "foguete" aqui descrito, de maneira que o mesmo vá o mais longe possível.

   Alcance mínimo a ser atingido pelo foguete para poder participar da Olimpíada de Foguetes, separado por categorias:

Categoria	Participantes	Alcance mínimo (metros)
1	Alunos de 1ª a 3ª séries	5
2	Alunos de 4ª e 5ª séries	10
3	Alunos da 6ª a 9ª séries	15
4	Alunos do Ensino Médio	20
5	Professoras	30
6	Professores	40



Alcance: é a distância medida no solo entre o ponto de lançamento e o ponto de impacto.

A distância deve ser medida entre o local de lançamento e o local de impacto ao longo da horizontal.

Regra básica de segurança: Nunca lance ou permita que sejam lançados foguetes, mesmo de canudo de refrigerante, na direção de pessoas ou animais. Estas atividades devem ser sempre supervisionadas por adultos.

2. A construção e lançamento do "foguete" de canudinho de refrigerante.

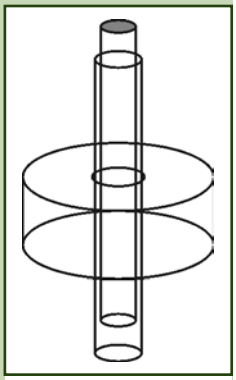
Providencie um canudo fino e outro grosso, de tal modo que o fino se encaixe dentro do grosso o mais justo possível.

Vede uma das pontas do canudo fino, por exemplo, com um pedaço de um palito de fósforo contendo a cabeça dele. Além de vedar o canudo, o peso do pedaço do palito de fósforo na ponta do "foguete-canudinho" faz com que o centro de massa do foguete fique na metade superior dele, o que ajuda a estabilizar o vôo. Fica a seu critério colocar ou não "empenas" (aquelas asinhas dos foguetes, vide Figura 4.51) no seu foguete-canudinho.

3. Métodos de lançamentos.

1º método: Coloque o canudo fino vedado dentro do canudo grosso. Sopre fortemente na extremidade inferior do canudo grosso e verá o foguete-canudinho fino, ser lançado para longe. Meça a distância entre você, e o lugar onde ele tocou o chão. Varie o ângulo de lançamento e faça o foguete-canudinho ir ainda mais longe.

2º método: Providencie uma garrafa PET vazia de qualquer volume. Faça um furo em sua tampa tal que por ele você consiga passar o canudo grosso até à metade do seu comprimento. O canudo tem que entrar apertado (veja detalhe na Figura 4.79, na qual está esquematizada a tampa da garrafa com os canudos encaixados). Por isso, faça um furo fininho e vá alargando com a ponta da tesoura; é muito fácil de fazer.



Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj).

Figura 4.78. Esquema da tampa de garrafa PET com o canudo (grosso) preso a ela e dentro do canudo grosso está o canudo (fino). Esta figura está fora de escala.

Coloque o canudo fino dentro do canudo grosso que está preso na tampa da garrafa. Aperte subitamente a garrafa e verá, talvez, o foguete-canudinho ser lançado para ainda mais longe do que quando soprado. Varie o ângulo de lançamento, colocando ou não "empenas"; o tamanho do pedaço do palito de fósforo que está na ponta do foguete; o tamanho da garrafa etc; e descubra como fazer para que o foguete vá o mais longe possível e, ganhe a Olimpíada de Foguetes da sua escola. Veja ilustração na Figura 4.79.

3º método: O mais importante: Invente você mesmo! Mas não pode usar material inflamável ou explosivo. Em menhuma hipótese use material metálico.

Resultado: Os ganhadores de cada categoria serão aqueles que lançarem o foguete-canudinho o mais longe possível.



Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

Figura 4.79. Foguete-canudinho. Dentro do canudo grosso preso na tampinha da garrafa PET está um canudo ligeiramente mais fino e tapado com palito de fósforo na extremidade superior.

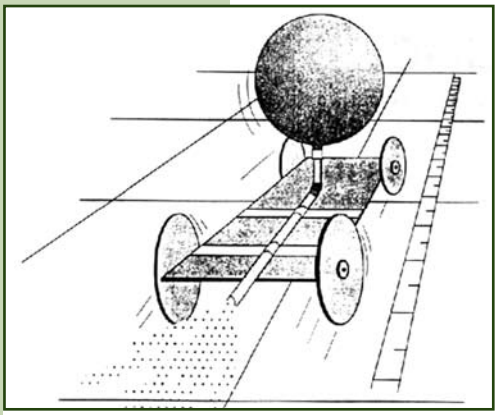
Possíveis desdobramentos

Certamente, após esta atividade, o espírito inventivo terá tomado conta dos participantes e estarão todos motivados a participar de construção de novos e mais potentes foguetes. Neste caso, sugerimos o lançamento de foguetes movidos por ar comprimido ou água e ar comprimido. Porém, os cuidados com segurança são muito maiores.

CONSTRUINDO UM CARRO-FOGUETE DE CORRIDA

João Batista Garcia Canalle (Uerj) e Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj).

Apresentação



Nasa. www.nasa.gov

Figura 4.80. O carro-foguete.

O princípio da ação-reação, uma das três leis fundamentais da dinâmica, é o que explica o movimento dos foguetes. De acordo com essa lei, a toda ação corresponde uma reação na mesma direção, em sentido oposto e de mesma intensidade. Para lançar foguetes, é necessário, portanto, que algum tipo de material, em geral o resultado de uma violenta combustão, seja ejetado do foguete, o qual se move na mesma direção, mas no sentido oposto. Vide Figura 4.66.

Em geral, lançar foguetes didáticos, usando o Princípio de Ação e Reação, requer cuidados especiais, notadamente em relação à segurança. Para não correr riscos desnecessários, apresentamos como alternativa o lançamento de um "carro-foguete", movido pelo ar comprimido contido num simples balão de látex, que se desloca entre 5 metros e 10 metros.

Objetivos

1. Construir, aperfeiçoar um carro-foguete.
2. Lançar um carro-foguete que alcance a maior distância possível numa competição entre alunos.

Sugestão de problematização

O alcance atingido pelo carro-foguete depende de vários fatores, tais como: atrito, cuidados na construção, volume do balão de látex, ventos etc. Caberá ao aluno descobrir os fatores que mais influenciam no alcance máximo obtido pelo seu carro-foguete visando torná-lo o mais eficiente possível e, assim, alcançar a maior distância possível e ganhar a "corrida dos carros-foguetes".

Materiais

- 1 fita adesiva
- 2 canudos
- 1 tesoura
- 1 balão de látex (balão de aniversário)
- 1 régua
- 1 pedaço de papelão
- 4 tampas de garrafa PET
- 2 varetas de churrasco (ou vareta de pipa)
- 1 prego fino

Procedimentos

1. Recorte um retângulo de papelão grosso com 10 cm de largura e 20 cm de comprimento e outro de 5 cm de largura por 30 cm de comprimento.
2. O primeiro será a base do carro, sob a qual ficarão os eixos, e o segundo servirá para prender o balão, como ilustrado na Figura 4.81.
3. O papelão de 5 cm de largura (ou mais) deve ser dobrado ao meio. Para facilitar, passe a ponta do estilete, de forma a fazer um corte com metade da espessura

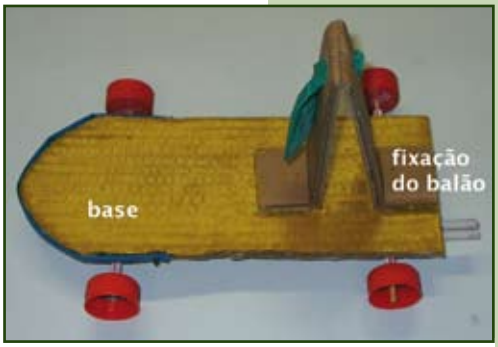


Figura 4.81. Imagem do carro-foguete montado.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

do papelão. Depois, dobre cerca de 5 cm em cada uma das extremidades (use a "dica" anterior para fazer o corte antes de dobrar), mas no sentido oposto à dobra inicial, tal qual uma letra V, porém, invertida e com duas "patinhas", conforme ilustra a Figura 4.81.

b. Faça um furo de cerca de 1 cm de diâmetro próximo do "vértice" do V invertido. Cole as "patinhas" do V invertido sobre a base do carro-foguete, conforme ilustra a Figura 4.81.

c. O carro-foguete está quase pronto. Agora só falta colocar os eixos e as rodas e isso é o mais fácil de tudo. Cole, com fita adesiva, sob a base do carro-foguete dois canudos, com 10 cm de comprimento, próximo das extremidades da base, e por dentro deles passe uma vareta de churrasco ou outra varetinha qualquer) com 15 cm de comprimento.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).



Figura 4.82. Imagem inferior do carro-foguete.

d. Fure o centro de quatro tampinhas de refrigerante com um prego fino e vá aumentando o diâmetro do furo bem lentamente, de forma que a vareta possa entrar neste furo bem apertado, como na Figura 4.82. Na Figura 4.83, apresentamos o carro-foguete com o balão inflado e pronto para a "largada". O "combustível" deste carro-foguete será o ar comprimido dentro do balão, o qual, quando liberado, impulsionará o carro no sentido oposto àquele em que está saindo o ar, ou seja, tal como nos foguetes reais, nos quais os gases da combustão saem em alta velocidade pela traseira do foguete e este é lançado no sentido oposto.

Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj) e João Batista Garcia Canalle (Uerj).

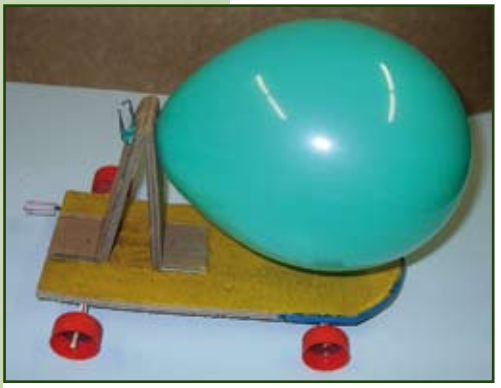


Figura 4.83. Carro-foguete montado e pronto para a "largada".

Possíveis desdobramentos

Finalizada a construção do carro-foguete, a melhor parte é o uso lúdico dele, pois a intenção é que os alunos participem de uma corrida com seus carros-foguetes.

Sugerimos colocar dois traços no chão, separados, inicialmente, por dois metros e pedir que coloquem seus carros posicionados (não muito próximos entre si) na linha de largada. Após uma contagem regressiva de cinco para zero, todos liberam seus carros-foguetes em zero. Aqueles que ultrapassaram a linha dos dois metros podem ir para a etapa seguinte, que é tentar vencer a barreira dos três metros e assim por diante, até surgir o campeão. Claro que variações nesta atividade são possíveis e fica a critério dos professores implementá-las.

Em 23 de maio de 1928, o magnata Fritz von Opel convidou a nata da sociedade berlinense para assistir ao seu carro-foguete atingir a velocidade de 200 km/h.



CONSTRUINDO E LANÇANDO FOGUETES

Ronaldo da Silva Rodrigues (Colégio Militar Dom Pedro II/SEDF) e Geraldo Barbosa de Oliveira Filho (CEM Paulo Freire/SEDF).

Apresentação

O sonho de voar povoa o imaginário humano desde o tempo mais remoto. O grande brasileiro Santos Dumont realizou esse sonho ao pilotar o primeiro avião, fruto de seu próprio intelecto.

Muito antes disso, alguns homens já haviam imaginado a construção de artefatos que pudessem ser lançados rumo ao infinito. Inicialmente, esses foguetes foram usados com objetivos bélicos e não demorou muito para que pessoas mais criativas vissem neles a possibilidade de alcançar o espaço e, conseqüentemente, outros corpos celestes.

Sua maior evolução ocorreu no século 20, com a chamada Guerra Fria, em que americanos e soviéticos disputavam, entre outras coisas, a primazia científica. Essa contenda rendeu aos dois adversários o desenvolvimento de propulsores cada vez mais eficientes, o que culminou com as pioneiras missões soviéticas ao espaço e, posteriormente, a conquista da lua pelos americanos.

No Brasil, a pesquisa sobre esse tema esbarrou na falta de investimento, o que não impediu que o País reunisse um grupo de pesquisadores e técnicos extremamente qualificados. Recentemente, o brasileiro Marcos Cesar Pontes viajou à Estação Espacial Internacional, a bordo da nave russa Soyuz, justamente cem anos após Santos Dumont realizar o primeiro vôo com o 14-Bis.

A Agência Espacial Brasileira tem procurado, nos últimos anos, divulgar e estimular nas escolas de Ensinos Fundamental e Médio

o debate em torno das questões que envolvem a Astronáutica e a Astronomia. Um desses projetos está ligado à construção de foguetes com garrafas PET, cuja propulsão se dá pelo aumento da pressão interna do recipiente. Evoluindo como uma variante desse modelo, sugerimos a substituição do aumento mecânico da pressão por uma reação química. Propomos também, um novo modelo de foguete, mais simples (mas não menos divertido), que torna mais fácil e segura a prática. Esta atividade é uma demonstração simples das Leis do Movimento de Newton.

Objetivos

Construir e lançar um foguete utilizando material reciclável e compreender os processos químicos e físicos envolvidos no seu lançamento.

Sugestão de problematização

Construir um foguete artesanal é mais simples do que lançá-lo. Por que existem tantas regras de segurança para o lançamento de foguetes, mesmo de brinquedo? Como uma reação química tão simples pode fazer um foguete levantar vôo?

Materiais

Para construir o foguete

- 1 rolha de cortiça
- Isopor ou papel (materiais leves)
- 1 cola (para fixar o foguete à rolha)
- 1 tesoura sem ponta
- 10 comprimidos efervescente
- Guardanapos
- Água

Regra básica de segurança: Em nenhuma hipótese devem ser utilizados materiais metálicos nos foguetes.

Construção da plataforma de lançamento

Sugerimos aqui dois modelos simples e baratos. São eles:

Modelo 1 (Figuras 4.86 A e B)

- 1 garrafa PET de 250 ml
- 1 garrafa PET de 2 l

Modelo 2 (Figuras 4.87 A e B)

- 1 abraçadeira hidráulica de 38/5 mm
- 2 porcas borboletas galvanizadas
- 2 parafusos tipo atarraxador cabeça chata
- 3 cantoneiras 5 cm/7 cm
- 2 parafusos rosca total cabeça chata
- 1 pedaço de madeira 10 cm x 10 cm x 2 cm (compensado)

Procedimentos

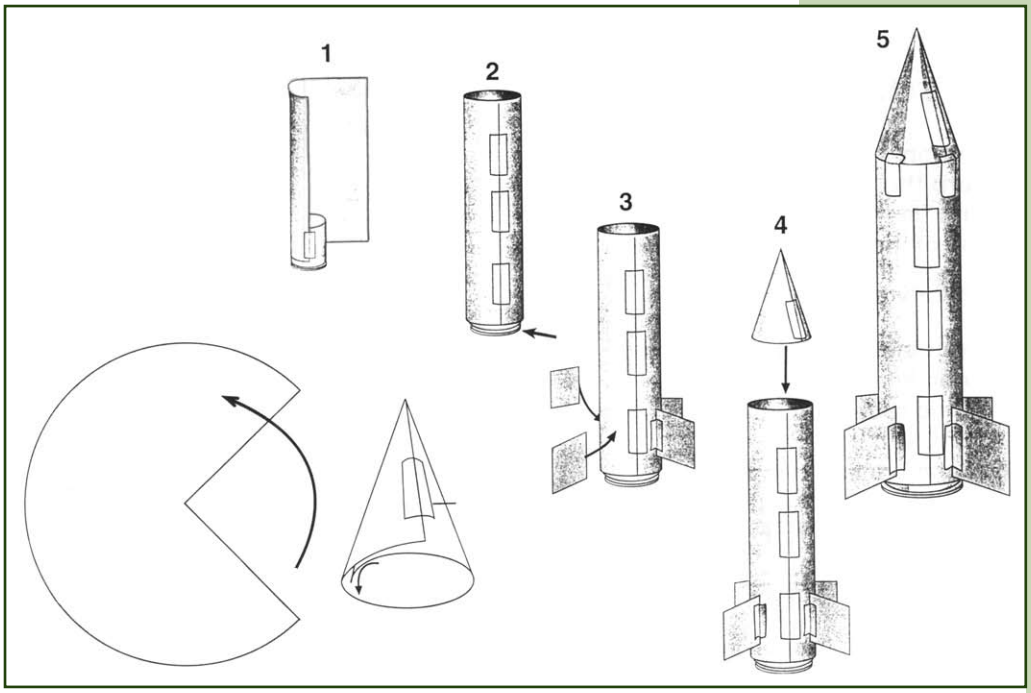
Construção do foguete



Ronaldo da S. Rodrigues

Figura 4.84A e B. Foguete fixado à rolha junto a um modelo de plataforma.

1. Utilizar isopor (ou papel) para criar um foguete de 10 cm de altura. Lembre-se de que o seu foguete deve possuir coifa e empenas (vide Figura 4.51). A coifa para reduzir o atrito com a atmosfera e as empenas para prover estabilidade durante o vôo.
2. Fixar a base do foguete à parte superior da rolha.
3. A coifa pode ser feita conforme ilustrado na Figura 4.85.



Nasa. www.nasa.gov

Figura 4.85. Montagem do foguete utilizando papel.

Construção da plataforma de lançamento

Dois modelos são sugeridos:



Ronaldo da S. Rodrigues

Figura 4.86A e B. Peças separadas (a) e conjunto preparado (b).

Modelo 1 (Figuras 4.86 A e B)

1. Cortar ao meio a garrafa PET de 2 l.
2. Produzir um corte na sua "boca", a fim de apoiar a garrafa de 250 ml (inclinada) no seu interior (Figura 4.86A e B).

Modelo 2 (Figuras 4.87 A e B)

1. Colocar a abraçadeira na garrafa de 250 ml.
2. Encaixar uma das cantoneiras entre a abraçadeira e o corpo da garrafa.



Ronaldo da S. Rodrigues

Figura 4.87A e B. Segunda plataforma montada (a) e o foguete encaixado (b).

3. Fixar outra cantoneira na base de madeira.
4. Utilizar a terceira cantoneira para unir a base de madeira ao corpo da garrafa. Você deverá utilizar os parafusos e as porcas borboletas.
5. Note que podemos regular a inclinação da garrafa (plataforma), Figura 4.87 A e B.

Lançamento do foguete

1. Escolher um local adequado, que garanta a segurança de todos.
2. Colocar água no interior da garrafa de 250 ml.
3. Abastecer o foguete com o comprimido efervescente envolvido em um guardanapo.
4. Tampar a garrafa com a rolha acoplada ao foguete.
5. Garantir que o foguete não seja lançado na direção de pessoas, animais, bens públicos ou privados.
6. Observar a reação se completar no interior do foguete.
7. Observar o vôo do foguete.

Orientações complementares

Código de segurança

Trabalhar com sistemas submetidos a pressão superior à pressão atmosférica envolve riscos. Assim, é indispensável que as pessoas envolvidas no lançamento do foguete proposto, estejam a par das medidas de segurança a serem adotadas, bem como dos procedimentos a serem tomados no surgimento de eventuais problemas, principalmente, quando se monta o aparato pela primeira vez. É sempre bom lembrar que todos os procedimentos devem ser acompanhados por uma pessoa adulta. Nesse aspecto, esta atividade é uma boa oportunidade para pais ou professores se envolverem de maneira saudável e divertida num projeto que,

sem dúvida, aproxima de forma solidária e empolgante os seus participantes. Por estes e outros motivos, é uma atividade potencialmente educativa em todos os aspectos que se possa pensar, aliando os conteúdos escolares à formação pessoal dos educandos. No entanto, não devemos desprezar o aspecto "segurança". Por isso, lembramos algumas das regras básicas:

- Não usar metal em qualquer parte do foguete.
- A rolha utilizada deve possuir uma das extremidades bem mais larga que a abertura da garrafa PET.
- Assegurar que as pessoas na área de lançamento estejam sempre cientes da iminência do lançamento do foguete.
- Não lançar o foguete usando-o como uma arma.
- Se um foguete ficar preso a um fio elétrico ou em outro local perigoso, não tentar soltá-lo.

Possíveis desdobramentos

Que tal discutir com os alunos as regras de segurança para o lançamento de foguetes e depois levantar outras questões ligadas à segurança das pessoas, das propriedades e do País? Afinal, este é um tema bastante atual, não é mesmo?

Se conseguir envolver outros professores e outras turmas, os seus alunos poderão fazer oficinas de construção de foguetes para ensinar aos colegas.

Os resultados das oficinas podem ser apresentados em uma exposição na escola. Vale usar a imaginação e utilizar outros materiais para confeccionar os foguetes.

Os alunos podem também fazer pesquisas a respeito da parte histórica e funcional dos foguetes e, em encontros quinzenais, expor seus trabalhos num ambiente de discussão organizado e sob orientação do professor, que atuará como mediador e facilitador. Depois, os alunos poderão apresentar os resultados de seu trabalho e de suas reflexões aos colegas de escola e à comunidade, em eventos culturais.



DESAFIOS

PARTE I

Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA).

O que difere um foguete de sondagem de um lançador de satélites?

Resposta: O que difere um foguete de sondagem de um lançador de satélites é a capacidade de fornecer velocidade à carga útil. No caso do lançador, essa capacidade é muito maior. Por isso os lançadores de satélites têm uma massa de propelente e um tamanho muito maior do que os foguetes de sondagem. No caso dos foguetes de sondagem e foguetes suborbitais, a velocidade orbital não é atingida e a carga-útil descreve uma trajetória de encontro à Terra. O foguete é lançado, sobe até sua altitude máxima e cai na superfície da Terra. A queda pode ser no solo ou no mar, e o local é previsto antes do lançamento, para que seja feito com segurança.

PARTE II

Questões da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As respostas estão no sítio da OBA: www.oba.org.br

1. (IX OBA, 2006 – 3º e 4º ano). No motor do foguete, os gases resultantes da queima do combustível são liberados através de uma tubeira. Os gases liberados em altíssima velocidade geram a força necessária para mover o foguete em sentido oposto. O mesmo efeito ocorre com um balão de látex (balão de aniversário), quando a enchemos de ar e a soltamos.

   1a. Desenhe um foguete.

   1b. Indique com um X, no foguete que você desenhou, em que local os gases estão sendo liberados.

   1c. Indique com uma seta, no seu desenho, em que direção o foguete voará.

2. (IX OBA, 2006 – 5º ao 9º ano). De acordo com o critério de que "o avião é uma máquina que pode decolar por seus próprios meios de propulsão", Santos Dumont ficou conhecido como o inventor do avião quando o seu 14-Bis, utilizando um motor com menos de 50 HP (cavalos) de potência, voou em Bagatelle, na França, em frente a uma multidão. Tal ocorreu em 23 de outubro de 1906. Em 1971, o "Pai da Aviação", foi proclamado "Patrono da Aeronáutica Brasileira". A Figura 4.88 ilustra as forças que atuam sobre um avião. A força peso é sempre vertical e voltada para baixo. A força empuxo é aquela que move o avião para frente, sendo resultado da ação das suas turbinas.



Acervo OBA.

Figura 4.88. Forças que atuam sobre um avião.

Ao consumirem o combustível, as turbinas geram gases a alta velocidade. Esses gases são expelidos para trás, fazendo com que o avião se desloque para frente. É o mesmo princípio físico que faz com que um balão de látex (balão de aniversário) se mova quando permitimos que o ar no seu interior escape através do seu bico. À medida que o avião se desloca à frente, aparece a força de arrasto. Ela resulta da resistência que a atmosfera terrestre oferece ao movimento dos corpos e atua no sentido contrário ao movimento do avião. Quando você está andando, você quase não percebe essa força. Entretanto, ao correr com a sua bicicleta você já deve ter experimentado a resistência do ar sobre o seu corpo. Além do arrasto, a interação do ar atmosférico com as asas do avião dá origem a uma força de sentido oposto à força peso. Trata-se da força de sustentação. É a mesma força que faz o papagaio (pipa) voar. Você já deve ter percebido que soltar uma pipa quando está ventando é muito mais fácil do que quando o ar está "parado". Aliás, quando o ar está "parado", temos que sair correndo com a pipa na mão, tentando fazê-la voar. No caso do avião, quem o faz se movimentar em relação à atmosfera são as suas turbinas. Quanto maior a velocidade do avião em relação ao ar atmosférico, maior será a força de sustentação.

2a. Sabendo que quanto maior for a velocidade do avião em relação ao ar, maior será a força de sustentação, qual das alternativas abaixo é a mais indicada para a decolagem de um avião?

a) ( ) Decolar a favor do vento (no mesmo sentido do vento).

b) ( ) Decolar contra o vento (no sentido oposto).

c) ( ) Decolar em uma direção que faça um ângulo de 90^0 com a direção do vento.

d) ( ) O sentido do vento não interfere na decolagem do avião.

2b. Justifique sua resposta.

3. (IX OBA, 2006 – Ensino Médio). De acordo com o critério de que "o avião é uma máquina que pode decolar por seus próprios meios de propulsão", Santos Dumont ficou conhecido como o inventor do avião quando o seu 14-Bis, utilizando um motor com menos de 50 HP (cavalos) de potência, voou em Bagatelle, na França, em frente a uma multidão. Tal ocorreu em 23 de outubro de 1906. Em 1971, o "Pai da Aviação", foi proclamado "Patrono da Aeronáutica Brasileira". A Figura 4.89 ilustra as forças que atuam sobre um avião. A força peso (P) é sempre vertical para baixo. A força de empuxo (E) é aquela que move o avião para a frente, sendo resultado da ação das suas turbinas que, ao consumirem o combustível, geram gases a alta velocidade. Esses gases são expelidos para trás, fazendo o avião se deslocar para frente. É o princípio da ação e reação de que trata a 3ª Lei de Newton. À medida que se desloca para a frente, aparece a força de arrasto (A), a qual resulta da interação entre o avião e a atmosfera terrestre. Essa força atua no sentido contrário ao movimento do avião. Além do arrasto, a interação do ar atmosférico com as asas do avião dá origem a uma força de sentido oposto à força peso. Trata-se da força de sustentação (S), matematicamente definida por $S = K \rho V^2$, onde K é uma constante que depende da área e da orientação da asa, ρ é a densidade do ar no local do vôo e V é a velocidade do avião em relação à atmosfera.



Acervo OBA.

Figura 4.89. Forças que atuam sobre um avião.

3a. Quando o avião está parado, S = 0. À medida que o avião ganha velocidade, a força de sustentação aparece. Para K e r constantes, quanto maior a velocidade, maior a força de sustentação. Se você já viu um avião decolar, observou que ele parte do repouso, aciona suas turbinas na potência máxima e vai, gradativamente, ganhando velocidade. Existe uma velocidade na qual a força

de sustentação se torna superior à força peso, S > P. É neste ponto que se dá a decolagem do avião. Calcule a velocidade de decolagem do 14-Bis, sabendo que sua massa (avião + piloto) era de 300 kg. Para tanto, suponha: $K = 30\ m^2$, $\rho = 1\ kg/m^3$ e $g = 10\ m/s^2$.

3b. Calcule a massa do avião militar Tucano, fabricado pela Embraer, sabendo que $K = 10\ m^2$ e que ele decola com velocidade $V = 180$ km/h. Suponha $\rho = 1\ kg/m^3$ e $g = 10\ m/s^2$.

4. (IX OBA, 2006 – 5º ao 9º ano). O Veículo Lançador de Satélites (VLS) do Brasil está em fase de qualificação no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). O VLS é composto por quatro estágios contendo motores a combustível sólido. O 1º estágio é composto de quatro motores. Eles são fixados lateralmente em relação ao corpo central composto pelos 2º, 3º e 4º estágios e pela carga-útil (satélite). Após a combustão do 1º estágio, seus propulsores são descartados e o vôo continua, com o acionamento sucessivo dos propulsores do 2º, 3º e 4º estágios, com os respectivos descartes desses estágios, logo que o combustível seja consumido.

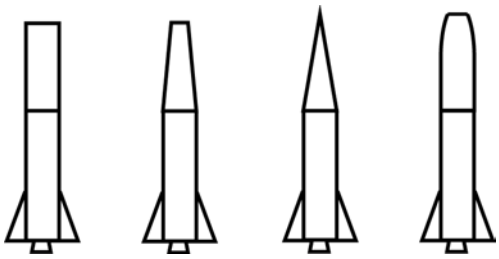
4a. Baseado nessas informações, marque a alternativa que representa o número de motores que compõem o VLS.

a) ( ) 4 b) ( ) 5 c) ( ) 6 d) ( ) 7

4b. Para sair do solo, a força gerada pelos gases resultantes da queima do combustível deve ser superior ao peso do VLS. Cerca de 80% do combustível de um foguete é consumido para vencer a gravidade. Os outros 20% são consumidos para vencer a força de arrasto que resulta da resistência ao avanço do foguete imposta pelo ar atmosférico. Ao caminhar, você quase não percebe essa resistência. Entretanto, você já deve ter percebido que alguns corredores olímpicos usam roupas especiais para reduzir o arrasto. O ramo da engenharia que estuda a interação do foguete com a atmosfera terrestre denomina-se aerodinâmica e um de seus objetivos é a obtenção

de uma forma geométrica que reduza o arrasto entre o foguete e a atmosfera. Suponha que você seja um engenheiro do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e tenha que decidir sobre o formato aerodinâmico que apresenta o menor arrasto. Dentre as alternativas abaixo, assinale aquela que você escolher.

a) ( ) b) ( ) c) ( ) d) ( )



Acervo OBA.

Figura 4.90. Exemplos de formas de foguetes.

5. (IX OBA, 2006 – Ensino Médio). O Veículo Lançador de Satélites (VLS) está em fase de qualificação no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE). O VLS é composto por quatro estágios contendo motores com combustível sólido. O 1º estágio é composto por quatro motores. Eles são fixados lateralmente em relação ao corpo central composto pelos 2º, 3º e 4º estágios e pela carga-útil (satélite). Após a combustão do 1º estágio, seus propulsores são descartados e o vôo continua, com o acionamento sucessivo dos propulsores do 2º, 3º e 4º estágios, com as respectivas separações desses estágios, logo que o propelente seja consumido. O VLS possui um comprimento de 20 m. Uma missão típica do VLS objetiva colocar um satélite de 150 kg numa órbita equatorial de 650 km de altitude. Para sair do solo, o Empuxo (E), gerado pela queima do propelente, deve ser superior ao Peso (P) do veículo, ou seja, $E > P$. De uma forma geral, 80% do combustível é consumido para vencer a gravidade. Os outros 20% são consumidos para vencer a força de arrasto (A) que, predominantemente, resulta do atrito do foguete com o ar atmosférico. Acima de 100 km de altitude,

considera-se a existência do vácuo e, portanto, a inexistência do arrasto. De acordo com a 2ª Lei de Newton, a aceleração imposta a um corpo é dependente da sua massa e da magnitude da resultante de forças que atua sobre ele, ou seja: $F = m.a$, onde "F" é o vetor que representa a resultante de todas as forças que atuam sobre o corpo, "m" representa a massa do corpo e "a" o vetor aceleração. Se $F = 0$, o corpo mantém o seu estado, isto é, permanece em repouso, se em repouso estiver, ou em movimento retilíneo e uniforme, se assim estiver. É o princípio da inércia estabelecido pela 1ª Lei de Newton.

5a. No instante do seu lançamento, o VLS tem uma massa de 50.000 kg. Desse total, 40.000 kg são propelente. A razão para tal é a necessidade de que, para manter o satélite na órbita desejada, é necessário impor-lhe a velocidade de 28.000 km/h. Considerando-se que os quatro motores do 1º estágio do VLS são acionados simultaneamente, calcule o empuxo mínimo requerido de cada motor para tirar o VLS do solo ($g = 10\ m/s^2$).

5b. O empuxo que você obteve na questão anterior é suficiente para manter o VLS na iminência do movimento. Na prática, os motores do 1º estágio do VLS fornecem empuxo superior. No instante inicial do lançamento, os quatro motores do 1º estágio fornecem um empuxo total de cerca de 1.000.000 N. Com esta informação, calcule a aceleração do VLS no instante do seu lançamento ($g = 10\ m/s^2$).



SALA DE PESQUISA

Livros

Astronáutica

BRADBURY, Ray. **Espaço: a fronteira do futuro**. São Paulo: Editora Abril, 2008.

CALIFE, J.L. **Como os astronautas vão ao banheiro? E outras questões perdidas no espaço.** Rio de Janeiro: Record, 2003.

CLARKE, Arthur C. **A exploração do espaço.** São Paulo: Companhia Melhorantes, 1951.

EGALON, Cláudio O.; CALIFE, Jorge L.; JÚNIOR, Reginaldo M. **Espaçonaves tripuladas: uma história da conquista do espaço**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2000.

MOURÃO, Ronaldo R. F. **Astronáutica: do sonho à realidade: história da conquista espacial.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

NOGUEIRA, Salvador. **Rumo ao infinito: passado e futuro da aventura humana na conquista do espaço.** Prefácio de Marcos Cesar Pontes. São Paulo: Globo, 2005.

PAUBEL, E. F. C. P. **Propulsão e controle de veículos aeroespaciais: uma introdução.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2002.

WINTER, Othon C.; PRADO, Antonio F. B. A. (Org.). **A conquista do espaço: do sputnik à missão centenário.** São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.

Astronomia

COUPER, Heather; HENBEST, Nigel. **Atlas do Espaço.** Tradução de Julio Fischer e Valter Léllis Siqueira. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

DELERUE, Alberto. **O Sistema Solar.** Rio Janeiro: Ediouro, 2002.

Universidade de São Paulo. **Instituto Astronômico e Geofísico (IAG/USP).** Anuário Astronômico. São Paulo: USP, 1986.

Carl Sagan

EHRLICH, P. R. et al. **O inverno nuclear.** Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1985.

_____. **O romance da ciência.** Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1982.

_____. **Os dragões do Éden.** Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1987.

_____. **Pálido ponto azul: o futuro do homem no espaço.** São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

TERZIAN, Y.; BILSON, E. **O universo de Carl Sagan.** Brasília: Editora Universidade de Brasília; São Paulo: Imprensa Oficial do Estado, 2001.

SAGAN, Carl et al. Murmurs of Earth: ***The Voyager Interstellar Record.*** New York: Random House, Inc., 1978.

SAGAN, Carl. **Bilhões e Bilhões: reflexões sobre vida e morte na virada do milênio.** Tradução: Rosaura Eichemberg. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

SAGAN, Carl. **Variedades da experiência científica: uma visão pessoal da busa por Deus**, São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

Ciências e Educação

GLEISER, Marcelo. **A dança do Universo: dos mitos da criação ao Big-Bang.** São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

HAWKING, Stephen. **O Universo numa casca de noz.** São Paulo: Arx, 2002.

_____. **Os gênios da ciência: sobre ombros de gigantes.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

Era Espacial

WOLFE, Tom. **Os Eleitos.** Tradução de Lia Wyler. Rio de Janeiro: Rocco, 1991. (Deu origem ao filme de mesmo nome / ver seção FILMES)

Ficção

BERGERAC, Cyrano de. **Viagem à Lua.** São Paulo: Globo, 2007.

CLARKE, Arthur C. **2010: Uma odisséia no espaço II.** 5. ed. Tradução de José Eduardo Ribeiro Moretzsohn. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982. (O seu antecessor, 2001: Odisséia no espaço, foi transformado em filme por Stanley Kubrick / ver seção FILMES)

GLEISER, Marcelo. **A harmonia do mundo: aventuras e desventuras de Johannes Kepler, sua astronomia mística e a solução do mistério cósmico, conforme reminiscências de seu mestre Michael Maestlin.** São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

HUBBARD, L. Ron. **Rumo às estrelas.** Tradução de Beatriz Sidou e Renato Reichmann. São Paulo: Nova Realidade, 2005.

VERNE, Julio. **Da Terra à Lua.** Tradução e adaptação de Maria Alice de A. Sampaio Doria. São Paulo: Melhoramentos, 2005.

_____. **Viagem ao redor da Lua.** São Paulo: Hemus, 2005.

WELLS, Herbert G. **A guerra dos mundos.** Tradução de Thelma Médici Nóbrega. Rio de Janeiro: Objetiva, 2007. (Deu origem ao filme de mesmo nome, em cartaz no cinema em 2005 / ver seção FILMES)

Infantil

FLORENZANO, T. G.; NÓBREGA, L.A. **A nave espacial Noé.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

HOCKMAN, Hilary; PARSONS, Alexandra. **O que há por dentro? Espaçonaves.** São Paulo: Dorling-Kindersley Book, 1994.

POSKITT, Kjartan. **Isaac Newton e sua maçã.** São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

REIS, C.; SILVA, L. N. **O menino que ensinou o mundo a voar.** São José dos Campos: JAC Editora, 2004.

Nasa (em português)

Nasa. **Alimentação e nutrição no espaço: manual do professor com atividades de ciências e matemática.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

_____. **Aprendendo a andar no espaço: manual do professor com atividades do ensino de tecnologia, matemática e ciências.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

_____. **Astronomia baseada no espaço: manual do professor com atividades.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2000.

_____. **Estação espacial: planos de aulas de ciências e matemática para atividades de pré a 8ª série.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2002.

_____. **Explorando a Lua: manual do professor com atividades de ciências da terra e do espaço.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2000.

_____. **Foguetes: manual do professor com atividades de ciências, matemática e tecnologia.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

Programa Espacial Brasileiro

FILHO, Edmilson J. C. **Política Espacial Brasileira: a política científica e tecnológica no setor aeroespacial brasileiro.** Rio de Janeiro: Revan, 2002.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Esclarecimentos sobre o acordo de salvaguardas tecnológicas com os Estados Unidos, com vistas ao lançamento comercial de foguetes e satélites norte-americanos pelo centro de lançamento de Alcântara, no Maranhão.** Brasília: MCT, ago. 2001.

MORAIS, Fernando. **Montenegro.** São Paulo: Planeta, 2006.

Santos Dumont

BARROS, Henrique L. **Desafio de voar: Brasileiros e a conquista de voar.** São Paulo: Metalivros, 2006.

CHEUICHE, Alcy. **Nos céus de Paris: O romance da vida de Santos Dumont.** Porto Alegre: L&PM, 2001. Coleção L&PM Pocket.

COHEN, Marleine. **Santos Dumont: Sim, Sou Eu, Alberto.** São Paulo: Globo, 2006

COSTA, Fernando Hipólyto da. **Alberto Santos Dumont: O Pai da Aviação.** Brasília: Adler Editora Ltda, 2006.

DIAS, Adriano B. **Santos Dumont: O inovador.** Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2006.

NOGUEIRA, Salvador. **Conexão Wright-Santos Dumont: a verdadeira história da invenção do avião.** Rio de Janeiro: Record, 2006.

SANTOS DUMONT, Alberto. **O que eu vi. O que nós veremos.** São Paulo: Hedra, 2000.

SODRÉ, Antônio. **Santos Dumont, um herói brasileiro: 1906-2006: centenário do primeiro vôo do 14-Bis, a Demoiselle a sua obra-prima.** 2. ed. São Paulo: Arindiuva Editora, 2006.

CD-ROM

ENCICLOPÉDIA do Espaço e do Universo. São Paulo: Globo, 1997. 1 CD-ROM.

Documentários (DVD)

CORRIDA Espacial: A História não revelada. Uma co-produção BBC/Channel One Russia/NDR/ National Geographic Channel. BBC, 2005. 2 DVDs

COSMOS. Produção de Carl Sagan. Adaptado para o Brasil pela Revista Superinteressante, editora Abril. EUA: Cosmos Studios, 2005. 5 DVDs.

DEEP space 1. Direção: James Younger. Adaptado para o Brasil pela Revista Newton Especial. EUA: Van Blad, 2004. 1 DVD.

DESCOBRINDO a Estação Espacial. Diretor: Pierre de Lespinois. EUA: Discovery Channel, 2000. 1 DVD.

DESTINO: Marte. Direção: Damon Thomas. Produção: Damon Thomas. EUA: Discovery Channel, 2005. 1 DVD.

DIAS que abalaram o mundo. Uma produção da Lion Television para BBC e The History Channel. Produção: Bill Locke e Chris Kelly. Adaptado para o Brasil pela Revista Superinteressante, editora Abril. Volumes 2, 4 e 5. Reino Unido: BBC, 2003. 3 DVDs.

EXPLORAÇÃO do espaço: novo guia visual do universo. Adaptado para o Brasil pela Revista Scientific American Brasil, editora Duetto. Reino Unido: York films of England, 2007. 4 DVDs.

HUBBLE – 15 anos de descobertas. Direção: Lars L. Christensen. Comercializado no Brasil pela Scientific American Brasil, editora Duetto. Europa: ESA, 2005. 1 DVD.

LEONARDO da Vinci: A vida e as invenções do homem mais curioso de todos os tempos. Produção e direção: Sarah Aspinall e Tim Dunn. Uma co-produção BBC/Discovery Channel. Adaptado para o Brasil pela Revista Mundo Estranho, editora Abril. Reino Unido: BBC, 2005. 1 DVD.

MISSION to MIR – IMAX. Direção: Uma apresentação do Smithsonian Institute e Lockhead Corporation em associação com a Nasa. EUA: Warner Home Vídeo, 1997. 1 DVD.

PLANETA Azul – IMAX. Direção: Ben Burtt. Uma apresentação do Smithsonian Institute e Lockhead Corporation em associação com a Nasa. EUA: Warner Home Vídeo, 1990. 1 DVD.

SPACE Odyssey: A primeira viagem de seres humanos aos limites do sistema solar. Adaptado para o Brasil pela Revista Superinteressante, editora Abril. Reino Unido: BBC, 2004. 2 DVDs.

SUPER Máquinas: Aviões Espaciais. Direção: Rod Parker. Produção: Nigel Henbest, Marly Carpenter e Pioneer Productions. EUA: Discovery Channel, 1997. 1 DVD.

TERREMOTOS e colisões cósmicas. Direção: Geoff Tanner. Produção: Andrew Waterworth. EUA: Discovery Channel, 1996. 1 DVD.

UMA AVENTURA no espaço – IMAX. Direção: Ben Burtt. Uma apresentação do Smithsonian Institute e Lockhead Corporation em associação com a Nasa. EUA: Warner Home Vídeo, 1990. 1 DVD.

Filmes (DVD)

1492 – A Conquista do Paraíso. Direção: Ridley Scott. Produção: Ridley Scott e Alain Goldman. Espanha, EUA, França, Inglaterra: Paramount, 1992. 1 DVD.

2001: Uma Odisséia no Espaço. Produção e Direção: Stanley Kubrick. EUA: Warner Home Vídeo, 1968. 1 DVD.

APOLLO 13. Direção: Ron Howard. Produção: Brian Grazer e Kathleen Quinlan. EUA: Universal, 1995. 2 DVDs.

CONTATO. Direção: Robert Zemeckis. Produção: Robert Zemeckis e Steve Starkey. EUA: Warner Home Vídeo, 1997. 1 DVD.

GIORDANO Bruno. Direção: Giuliano Montaldo. Produção: Carlo Ponti. Itália: Versátil Home Vídeo, 1973. 1 DVD.

GUERRA dos Mundos. Direção: Byron Haskin. Produção: George Pal. EUA: Paramount, 1952. 1 DVD.

GUERRA dos Mundos. Direção: Steven Spielberg. Produção: Kathleen Kennedy e Colin Wilson. EUA: Paramount. 2005. 1 DVD.

IMPACTO Profundo. Direção: Mimi Leder. Produção: Richard D. Zanuck e David Brown. EUA: Dream Works, 1998. 2 DVDs.

O CÉU de Outubro. Direção: Joe Johnston. Produção: Charles Gordon. EUA: Universal, 1999. 1 DVD.

O HOMEM do Sputnik. Direção: Carlos Manga. Produção: Cyll Farney. Brasil: Globo Vídeo, 1959. 1 DVD.

O INÍCIO do Fim. Direção: Roland Joffé. Produção: Tony Garnet. EUA: Paramount, 1989.

O JULGAMENTO de Nuremberg. Direção: Yves Simoneau. Produção: Alliance Atlantis/Productions La Fête. EUA: Warner Home Video, 2000.

OS ELEITOS. Direção: Philip Kaufman. Produção: Robert Chartoff e Irwin Winkler. EUA: Warner Home Vídeo, 1983. 2 DVDs.

PLANETA Vermelho. Direção: Antony Hoffman. Produção: Mark Canton et al. EUA: Warner Home Vídeo, 2001. 1 DVD.

PLANO de Guerra. Direção: Dror Zahavi. Produção: Nico Hofmann e Ariane Krampe. Alemanha: Focus Filmes, 2007. 1 DVD.

Sítios

Instituições

AEB (Agência Espacial Brasileira) – http://www.aeb.gov.br/

CTA (Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial) – http://www.cta.br/

Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS – http://astro.if.ufrgs.br/

ESA (Agência Espacial Européia) – http://www.esa.int/

IAE (Instituto de Aeronáutica e Espaço) – http://www.iae.cta.br/

IAG/USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP) – http://www.astro.iag.usp.br/

Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) – http://www.inpe.br/

ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) – http://www.ita.br/

LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica) – http://www.lna.br/

MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins) – http://www.mast.br/

Nasa (Agência Espacial Americana) – http://www.nasa.gov/

ON (Observatório Nacional) – http://www.on.br/

OV/UFRJ (Observatório do Valongo) – http://www.ov.ufrj.br/

ROSCOSMOS (Agência Espacial Russa) – http://www.roscosmos.ru/index.asp?Lang=ENG/

Revistas

Astronomy – http://www.astronomy.com/

Ciência Hoje – http://cienciahoje.uol.com.br/

Ciência Hoje das Crianças – http://www2.uol.com.br/cienciahoje/chc/

Revista Macrocosmo – http://www.revistamacrocosmo.com/

Revista Scientific American Brasil – http://www2.uol.com.br/sciam/

Diversos

AAB – http://www.aeroespacial.org.br/

Biblioteca Virtual de Astronomia – http://www.prossiga.br/astronomia/

Encyclopedia Astronáutica – http://www.astronautix.com/

Facção Científica – http://www.faccaocientifica.org/

Jornal da Ciência – http://www.jornaldaciencia.org.br/

OBA (Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica) – http://www.oba.org.br/

SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) – http://www.sba.com.br

Wikipedia – http://pt.wikipedia.org/wiki/Astronomia#Astronomia_em_Portugu%EAs/

Zênite – http://www.zenite.nu/



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola), 2008.

capítulo 5

TERRA REDESCOBERTA NO ESPAÇO

Salvador Nogueira e Petrônio Noronha de Souza.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.1. Concepção artística de um dos robôs-gêmeos enviados a Marte, Spirit e Opportunity.

Qual é a melhor forma de estudar um planeta: do chão ou de uma órbita acima dele? O sucesso incontestável e as imagens fascinantes dos robozinhos marcianos da Agência Espacial Americana (Nasa) Spirit e Opportunity, que chegaram ao planeta vermelho em janeiro de 2004, parecem sugerir que não há maneira melhor de investigar a história e as características de um mundo do que estar lá, estudando de perto suas rochas e sua composição química. Entretanto, uma análise mais aprofundada mostra que isso não é verdade.

Para começo de conversa, os robozinhos americanos, que também são uma espécie de jipe, só puderam atingir essa condição graças a missões anteriores, que ajudaram a escolher os locais de pouso mais adequados para eles. Essa escolha, feita com base em imagens colhidas de órbitas ao redor de Marte por sondas como a Mars Global Surveyor [algo como Topógrafo Global Marciano], que chegou a seu destino em 1997, levou em conta não somente o fator segurança – determinar onde os robôs podiam descer com menor risco de serem danificados durante o pouso –, mas também o potencial científico dos portais escolhidos.

A cratera Gusev, destino do jipe Spirit, foi escolhida porque **imagens orbitais** revelavam canais (provavelmente leitos secos de rios antigos) que desembocavam naquele imenso buraco circular na superfície, resultante de uma colisão cósmica ocorrida há muito tempo.



Imagens orbitais: são aquelas obtidas de um ponto de vista privilegiado, em ór-bita de um dado corpo celeste.

Já a região de Meridiani Planum, para onde foi o Opportunity, havia sido escolhida por um critério ainda mais sutil – medições obtidas por sondas orbitais detectaram sinais do que seria a presença de um minério chamado hematita. Os cientistas sabem que esse material costuma se formar na presença de água. Como a idéia da Nasa com a missão era começar a desvendar conclusivamente se Marte teve um passado "molhado" e já foi potencialmente habitável, procurar sinais antigos de água na superfície seria uma excelente idéia.

Nasa.
http://www.nasa.gov/



Figura 5.2. A cratera Victoria, visualizada em mosaico de imagens obtidas pelo jipe Opportunity.

Então, não foi por acaso que os dois jipes conseguiram confirmar essa teoria de que Marte um dia já teve água corrente e abundante em seus solos – eles só obtiveram esses resultados graças a um procedimento cuidadoso de escolha de seus locais de pouso, que por sua vez só foi possível graças à presença de espaçonaves – satélites artificiais – ao redor do planeta vermelho.

Moral da história: com a perspectiva única de observações feitas do espaço, podemos revolucionar não só o conhecimento que temos de outros mundos, mas também o que temos do nosso próprio. Vista de fora, a Terra ainda tinha muitos segredos a revelar sobre sua dinâmica global, coisas que só poderiam mesmo ser observadas por alguém (máquina ou ser humano) que estivesse em órbita. Assim, graças aos satélites, hoje podemos monitorar nosso planeta como nunca antes feito.

Não soa como surpresa, portanto, a constatação de que, desde os primeiros lançamentos ao espaço, estamos reunindo novas e importantes informações sobre nosso planeta – muitas vezes modificando o entendimento (parcial ou até mesmo equivocado) que tínhamos do ambiente terrestre antes que tivéssemos esse recurso adicional, e hoje primordial, de pesquisa.

Neste capítulo, conheceremos um pouco da tecnologia que nos permite fotografar a Terra do espaço, de como obtemos informações para a previsão de tempo e clima, de como é constituída a atmosfera, de como os satélites auxiliam a navegação e as comunicações – tudo isso, sem uma perspectiva futurista. Estamos falando do que já está acontecendo.

De certa maneira, foi uma surpresa descobrir na exploração espacial tanto potencial para entender a Terra e melhorar a vida de seus habitantes. O objetivo dos pesquisadores, de início, era habilitar a exploração de novos mundos. Mas, nesse processo, acabaram redescobrindo o seu próprio.

A situação que talvez sirva como bandeira dessa descoberta é a missão **Apollo 8** – primeira viagem a levar astronautas ao redor da Lua, em dezembro de 1968. Ao girar em torno do satélite natural, a tripulação pode observar pela primeira vez uma situação bela e inusitada: o "nascer da Terra", surgindo no horizonte lunar. Um dos astronautas, Bill Anders, sintetizou os pensamentos evocados por essa visão ao dizer: "Viemos de tão longe para explorar a Lua e acabamos descobrindo a Terra".



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.3. Fotografia obtida por astronautas a bordo da Apollo 8, mostrando a Terra no horizonte da Lua.



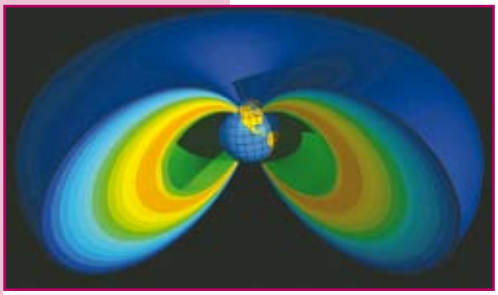
Apollo 8: (21 a 27 de dezembro de 1968). Primeira missão espacial a levar astronautas até uma órbita em torno da Lua. A tripulação, composta por Frank Borman, James Lovell e William Anders, passou a noite de Natal de 1968 circundando a esfera lunar e depois retornou com sucesso à Terra, num passo crucial para o futuro do programa Apollo.

Campo magnético terrestre: é produzido no núcleo exterior terrestre, sob o manto, por conta do fluxo de grandes cargas elétricas naquela região. O fenômeno, na prática, transforma a Terra num grande ímã, o que faz com que todas as bússolas apontem para o pólo Norte magnético.

CINTURÕES DE RADIAÇÃO

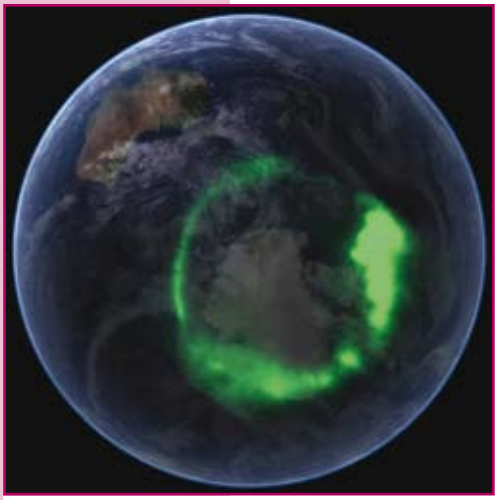
As primeiras descobertas realizadas pelo advento dos satélites artificiais estiveram relacionadas ao **campo magnético terrestre**. Claro, desde muito tempo atrás os seres humanos já sabiam que as camadas internas da Terra de alguma maneira pareciam transformar o planeta num imenso ímã, por isso as bússolas estão sempre apontando para o Norte magnético. Entretanto, quase nada se sabia a respeito da interação entre o campo magnético

terrestre e as partículas enviadas pelo Sol no vento solar e nas erupções que costumam ocorrer nos períodos em que a estrela está mais ativa. Coube ao primeiro satélite artificial americano, o Explorer 1, lançado em 31 de janeiro de 1958, o mérito de começar a desvendar como exatamente se dá essa interação.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.4. Imagem mostra representação tridimensional dos cinturões de radiação que envolvem a Terra.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.5. Imagem de uma aurora austral vista do espaço, por um satélite da Nasa.

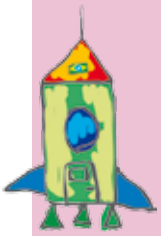
Na verdade, os Sputniks 2 (1957) e 3 (1958), ambos da União Soviética, também possuíam dispositivos capazes de fazer as mesmas medições obtidas pelo Explorer 1, mas os sistemas de gravação dos dados a bordo desses satélites falharam, impedindo os soviéticos de serem os primeiros. O cientista James Van Allen (1914-2006), então na Universidade de Iowa (EUA), conseguiu pôr as mãos em dados que comprovavam a existência de um cinturão de radiação em volta da Terra, que aprisiona muitas das partículas mais energéticas vindas do espaço. A existência de cinturões desse tipo já havia sido proposta teoricamente antes, mas sua descoberta fez com que eles ficassem conhecidos como Cinturões de Van Allen.

Com o avanço das pesquisas com satélites, foi possível distinguir a existência de dois cinturões ao redor da Terra. O mais próximo começa mais ou menos a uns 600 km de altitude. O mais afastado fica a uma distância média de 5.000 km a 65.000 km da superfície terrestre, e é mais concentrado na região a 15.000 km do chão.

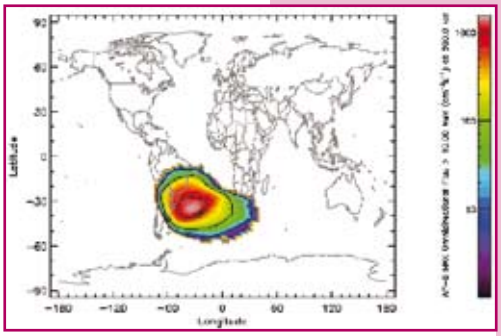
Esses cinturões se encontram com a atmosfera terrestre nas latitudes mais elevadas (para o Norte e para o Sul). O choque entre suas partículas e as moléculas do ar produz o fenômeno conhecido pelo nome de aurora (boreal se for no Norte, austral se for no Sul). Um mistério relacionado a eles que ainda carece

de esclarecimentos é a curiosa "Anomalia do Atlântico Sul" – uma região que concentra uma quantidade maior de radiação, e que afeta inclusive o território brasileiro. O fenômeno continua a ser investigado rotineiramente durante as missões realizadas pelos ônibus espaciais americanos e por cientistas que estudam os fenômenos físicos das altas atmosferas, entre eles muitos brasileiros.

A Anomalia do Atlântico Sul é uma região em que o cinturão interno de Van Allen faz sua aproximação máxima da Terra, resultando num aumento da presença de radiação vinda do Sol e do espaço interestelar naquela área.



Essa interação entre o campo magnético terrestre e a radiação solar, produzindo os Cinturões de Van Allen, tem implicações diretas para a Terra – haja vista os fenômenos das auroras. Mas sua descoberta é igualmente relevante para o futuro das viagens espaciais.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.6. Mapa com os contornos da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

Um astronauta "estacionado" num dos cinturões estaria em apuros num período relativamente curto – a radiação seria fatal para ele. Por isso, para as missões que vão além da **órbita terrestre baixa** (até hoje, as únicas que entraram nessa categoria foram as viagens à Lua realizadas durante o Projeto Apollo), existe uma preocupação muito grande para que a espaçonave transportando pessoas faça a travessia dos cinturões o mais rapidamente possível.



Órbitas terrestres baixas: (LEO, na sigla inglesa) são as que vão de cerca de 200 km até 2.000 km de altitude.

E, acredite se quiser, a preocupação tem de ser quase a mesma quando estamos falando de veículos não-tripulados: a radiação também é capaz de desabilitar temporariamente ou danificar em caráter permanente circuitos eletrônicos – daí a preocupação com os satélites artificiais durante uma tempestade solar, que aumenta enormemente a presença de radiação nas imediações da Terra, dentro ou fora dos Cinturões de Van Allen.

A descoberta e o mapeamento dos cinturões foram interessantes, mas servem apenas como um exemplo de coisas maiores e mais

relevantes que estariam por vir em anos seguintes. Embora o planeta Terra seja muito diverso em seus diferentes *habitats*, que vão de vastas florestas tropicais a desertos secos, passando por regiões geladas e áreas de vegetação rala, há um elemento que permeia todas essas regiões, "unificando" o planeta. Estamos falando, naturalmente, da atmosfera. Seu entendimento completo só surgiu a partir da possibilidade de estudá-la por inteiro. E isso só foi possível a partir de plataformas espaciais, que podem ser definidas como artefatos produzidos pelo ser humano dotados de instrumentos e sensores, tripulados ou não, que são colocados em órbita da Terra e lá permanecem por longos períodos de tempo enviando dados.

Para entender mais sobre as tecnologias que estão por trás dos satélites artificiais, leia o texto "Os satélites artificiais e a sua tecnologia" na seção "Leituras Complementares".

A ATMOSFERA TERRESTRE

O invólucro de ar que cerca a Terra não é estático. Sendo sua natureza extremamente dinâmica, é praticamente impossível, por exemplo, determinar com exatidão onde termina a atmosfera terrestre. O que ocorre na verdade é uma redução gradual da densidade do ar, conforme aumenta a distância da superfície do planeta. Então, a transição da atmosfera para o espaço se dá com a redução gradual da presença de moléculas do ar, até que não haja praticamente mais nada.



Livre caminho médio

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Livre caminho médio é a distância média percorrida por uma molécula antes que colida com outra. Ao nível do mar, esta distância é muito pequena, isto é, da ordem de 0,0001 mm. A 80 km de altitude, o livre caminho médio é de 4 mm, ou seja, na média, entre uma colisão e outra, a molécula (ou átomo) percorre a distância de 4 mm. A 500 km de altitude, o livre caminho médio é de 80 km.

Na falta de uma linha delimitadora clara, convencionou-se que o espaço começa "oficialmente" a uma altitude de 100 km. Mas mesmo a 400 km de altitude, região em que orbita a Estação Espacial Internacional (ISS), ainda há moléculas de ar.

A despeito de serem poucas, elas produzem resistência atmosférica suficiente para que espaçonaves em órbita (como é o caso da estação) percam gradualmente sua altitude original. Por isso, de tempos em tempos é preciso que uma nave (o ônibus espacial ou uma das naves russas de abastecimento, Soyuz ou Progress) ligue seus motores e impulsione a estação a fim de restabelecer a altitude original.

Mesmo abaixo dos cem quilômetros, a atmosfera não é igual em toda a sua extensão. Diferentes camadas apresentam características variadas. Vamos primeiro conhecer os componentes da atmosfera e então discutir rapidamente quais são as principais divisões da atmosfera terrestre. Vale lembrar que existem mais subdivisões que essas. Apresentamos aqui as mais importantes.

A atmosfera terrestre é composta principalmente pelos gases nitrogênio, N_2, e oxigênio, O_2. Eles respondem, respectivamente, por 78% e 21%, em volume, de todo o invólucro gasoso que cerca a Terra. Mas ela não contém apenas esses gases; outros, em quantidades menores, também se fazem presentes. Quase 1% da atmosfera é composta por argônio, um gás nobre, e outras substâncias, como vapor d'água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2). Uma forma alternativa de oxigênio, o ozônio (O_3), está presente nas regiões mais altas da atmosfera, e também há traços de uma substância chamada metano (CH_4).

Dois desses gases são especialmente relevantes nos dias de hoje: o dióxido de carbono (também conhecido como "gás carbônico") e o metano. Ambos estão entre os principais gases causadores do efeito estufa, e suas emissões crescentes por atividades humanas ameaçam a estabilidade ecológica da Terra. Mas falaremos de efeito estufa e aquecimento global mais tarde. Por ora, vamos relembrar as principais camadas atmosféricas.



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola), adaptação de ilustração da Noaa. Termos traduzidos por Salvador Nogueira.

Figura 5.7. As várias camadas da atmosfera terrestre.



Nasa. http://www.hq.nasa.gov/

Figura 5.8. Imagem da Gemini 7 mostra a atmosfera terrestre vista do espaço – uma estreita camada azul clara sobre a borda do planeta.



Robert Owen-Wahl/United Kingdom.
Fonte: http://www.sxc.hu/

Figura 5.9. Considerando-se que o raio da Terra é de 6.350 km, os 100 km de espessura da sua atmosfera representam, proporcionalmente, menos do que a casca da maçã representa para aquela fruta.

Troposfera

É a região que nos cerca imediatamente. Ela vai do chão a uns 12 km, em média. Na região intertropical (entre os trópicos), ela é mais espessa, indo em média até os 17 km, e, sobre os pólos, é mais estreita, atingindo apenas os 7 km. Esta camada é mais quente próximo da superfície da Terra, aquecida que é por ela.

Com o aumento da altitude nota-se uma diminuição da temperatura, o que ocorre principalmente em virtude da diminuição da densidade atmosférica. A troposfera guarda cerca de 90% do total da massa da atmosfera completa. É nela que os principais fenômenos ligados à vida acontecem, como as chuvas e a formação de nuvens. Também é nela que voam os aviões comerciais.

Estratosfera

Localizada logo acima da troposfera, a estratosfera se estende a até uns 50 km de altitude. Embora possua uma concentração muito baixa de umidade, sua dinâmica de ventos influencia o tempo e o clima na troposfera abaixo.

É aqui também, sobretudo a partir dos 30 km de altitude, que encontramos a camada de ozônio, famosa capa composta

por moléculas dessa substância parente do oxigênio molecular (enquanto o gás oxigênio que respiramos é composto por dois átomos de oxigênio, o ozônio é composto por três átomos de oxigênio). Sua função é importantíssima na manutenção da vida na Terra, ao absorver boa parte da radiação ultravioleta do Sol, impedindo que uma quantidade maior chegue à superfície. É essa absorção de energia pelo ozônio que explica o aumento de temperatura com a altitude nesta camada da atmosfera.

Mesosfera

Na mesosfera, que vai até cerca de 80 km de altitude, a temperatura volta a cair drasticamente, sendo que a diminuição da concentração de ozônio é uma de suas causas. Trata-se de uma das regiões menos compreendidas da atmosfera terrestre, em virtude da quantidade reduzida de dados experimentais disponíveis. Uma das razões está no fato da sua altitude ser ao mesmo tempo alta demais para aviões e balões que realizam estudos atmosféricos, e baixa demais para os satélites, o que faz com que apenas foguetes suborbitais possam realizar medições, o que ocorre sempre por poucos minutos.

Termosfera

Acima de 80 km e até uma região de cerca de 690 km, temos a termosfera. A temperatura do ar aumenta paulatinamente conforme o aumento da altitude, mas aqui temos uma noção de temperatura diferente da que temos na troposfera.

Estamos falando da energia cinética que cada molécula presente no ar tem individualmente, embora no conjunto isso não signifique muito, pois o ar é muito mais rarefeito a essas altitudes – ou seja, possui muito menos moléculas por unidade de volume. Então, embora cada molécula possua alta energia cinética, a temperatura a ser medida por um termômetro colocado nessa região seria baixíssima.

Saiba mais...

Um pouco sobre o conceito de temperatura na termosfera

Salvador Nogueira e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Na faixa que vai de 80 km da superfície da Terra até cerca de 690 km, temos a termosfera. A 80 km, a pressão atmosférica é cerca de quatro milionésimos daquela existente ao nível do mar e a temperatura é de 80 graus Celsius negativos. Nessas condições, a atmosfera é predominantemente formada de N_2 e O_2. A partir dessa altitude, a temperatura se eleva em função dos processos de dissociação e ionização, causados pela radiação solar.

A 690 km, a pressão é 0,3 trilionésimo daquela existente ao nível do mar. Para efeitos práticos tem-se o vácuo, sendo a atmosfera predominantemente constituída por oxigênio atômico. A energia liberada pelos processos de dissociação e ionização eleva a tempe-ratura atmosférica para 725 graus Celsius. No entanto, aqui temos uma noção de temperatura diferente da usual. Normalmente associamos temperatura à sensação térmica de "quente" e "frio". Mas a definição mais científica de temperatura está associada à energia cinética das partículas, aqui entendidas como moléculas e átomos. Fisicamente, essa alta temperatura na termosfera resulta de uma elevada velocidade dos átomos de oxigênio, mas, como a atmosfera é rarefeita, raramente há colisão entre elas.

Na prática, se um termômetro fosse colocado nessa altitude, ele estaria sujeito à radiação solar, à radiação terrestre e, finalmente, ao vácuo do espaço. Nessa situação, a temperatura por ele medida não seria aquela associada à energia cinética dos constituintes da atmosfera, uma vez que a possibilidade de colisão dessas partículas com o termômetro seria diminuta. Conseqüentemente, a temperatura registrada resultaria de dois processos simultâneos: absorção de radiação solar e terrestre pelo termômetro, que tenderia a aumentar a sua temperatura, e perda de energia, via radiação térmica, para o vácuo do espaço distante, cuja temperatura é de 270 graus Celsius, negativos!

Considerando-se que vários satélites estão localizados na termosfera, não é difícil concluir que, ao darem em torno de 15 voltas por dia na Terra, eles estão sujeitos a enormes variações de temperatura. Além disso, estão desprotegidos da radiação nociva proveniente do Sol, a qual pode danificar seus equipamentos. De modo similar, os astronautas que trabalham na montagem da Estação Espacial Internacional (ISS) também ficam sujeitos a este ambiente quando passam horas em atividades extraveiculares (fora da estação).

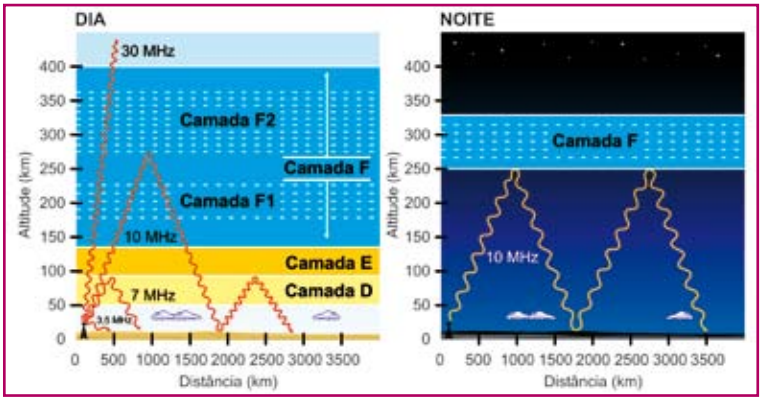
Uma camada diferente: a ionosfera

Muita gente já deve ter ouvido falar na ionosfera, mas vale lembrar: essa região não faz parte da divisão tradicional que mostramos anteriormente. Ela, na verdade, se sobrepõe à mesosfera e à termosfera, ocupando uma região entre 60 km e 400 km de altitude. Composta por íons – ou seja, moléculas ou átomos presentes na atmosfera que perderam ou ganharam elétrons (em razão de sua interação com a radiação vinda do espaço) e por isso têm uma carga elétrica definida –, a ionosfera produz o fenômeno de reflexão de certos comprimentos das ondas de rádio. É graças a ela que as ondas curtas de rádio podem cruzar os oceanos e ser detectadas do outro lado do mundo. Em vez de deixar a onda "vazar" para o espaço, ela é refletida de volta, onde pode ser detectada.



Adaptada por Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola). Fonte: NAsa. www.nasa.gov/

Figura 5.10A. Ondas de rádio subindo, refletindo e voltando para a superfície terrestre.



Adaptada por Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola). Fonte: Encyclopædia Britannica, Inc. www.britannica.com/

Figura 5.10B. Gráficos mostrando as ondas de rádio subindo, refletindo e voltando para a superfície terrestre.

O estudo da atmosfera é fundamental para as atividades humanas – dependemos dela profundamente, em muitos sentidos. Ela armazena energia, permitindo que sigamos vivendo mesmo quando o Sol está escondido, durante as noites, e também produz a dinâmica das chuvas, distribuindo a substância da qual a vida depende mais profundamente.

Não é difícil concluir que entender a natureza da Terra como um "planeta vivo" exige a compreensão da química e da dinâmica atmosféricas, sobretudo no que diz respeito ao chamado "ciclo hidrológico" – o ciclo da água. E, do ponto de vista da dinâmica da circulação da água pelo globo, não faz sentido estudar a atmosfera sem monitorar também os oceanos – principal fonte da substância para as nuvens que se formam rotineiramente por sobre o globo.

É por esta razão que o estudo da água por meio de satélites é muito importante para o meio ambiente, pois sabemos que a Terra é um planeta praticamente aquático, com dois terços de sua superfície coberta por água. Adicionalmente, os oceanos têm sido o depósito favorito das atividades humanas, recebendo poluentes dos mais variados tipos, como derramamentos de óleo, esgotos domésticos e industriais, entre outros. Por isso é essencial o monitoramento das águas.

Assim, graças aos estudos com satélites artificiais, emergiu a conclusão de que atmosfera e oceanos devem ser entendidos em conjunto, como um único sistema – o sistema que permite a vida na Terra.

ENTENDENDO TEMPO E CLIMA

Pouco paramos para pensar nisso, mas o padrão mais visível nos céus é o impresso principalmente pelos oceanos: estamos falando das nuvens. Se não fosse por elas, seria difícil distinguir dia após dia diferenças significativas na atmosfera. Compostas por gotículas de água ou de gelo, ou ambos, dependendo de sua forma, denotam a possibilidade de chuvas ou permitem a identificação de algum outro fenômeno meteorológico, como os tornados.

O tempo no planeta Terra é extremamente variado. Hoje pode estar um dia claro e sem nuvens, amanhã pode chover forte e rapidamente

pela manhã, para um límpido fim de tarde, com direito a arco-íris, seguido por dias de tempo nublado e chuviscos ocasionais. Essas variações diárias são o que definimos como "tempo".

No entanto, quando analisamos uma região por períodos mais longos, nota-se a existência de padrões que se repetem. Nas regiões equatoriais, por exemplo, onde estão localizados os **estados amazônicos** do Brasil, é comum a ocorrência de uma chuva forte e relativamente rápida todos os dias. Fora da região intertropical, o que se nota é um padrão sazonal (que varia ciclicamente com a época do ano), com épocas mais secas e épocas mais úmidas, acompanhando as estações do ano. Nos desertos, como os do norte da África, a regra é não chover quase nunca. Na Inglaterra, é comum aquela névoa rasteira, conhecida lá como *fog*, e por aí vai.



Amazônia Legal: é formada por Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão.

Praticamente todos os lugares do mundo possuem certos padrões repetitivos de tempo, embora em algumas regiões este seja um fenômeno mais sutil. A essa avaliação de longo prazo do comportamento do tempo damos o nome de "clima".

Uma vez que esses padrões, em suas variações diárias e de longo prazo, começaram a ser notados, surgiu a necessidade de ciências que registrassem e explicassem essa dinâmica do tempo e do clima. A primeira a ser criada, responsável pelas avaliações de curto prazo, foi a chamada meteorologia. Trata-se de um campo que surgiu muito cedo na história humana, embora não com o formalismo e o rigor apresentados hoje.

Os primeiros conhecimentos acerca dessa ciência surgiram no Egito Antigo, mas o nome "meteorologia" só apareceu por volta do ano 350 a.C., cunhado por Aristóteles (384-322 a.C.). A palavra vem de meteoro, que em grego significa algo como "aquilo que está no ar". (Por isso não é tão complicado imaginar por que pequenos bólidos celestes que atravessam a atmosfera e se desintegram antes de chegar ao chão, produzindo as "estrelas cadentes", foram batizados de meteoros. Os pedregulhos que conseguem concluir a travessia e chegam ao solo são chamados de meteoritos.)

Mas Aristóteles fez mais que dar o nome à ciência que estuda a atmosfera. Em sua obra "Meteorologia", ele já oferecia pistas

importantes de alguns dos elementos fundamentais ao desenvolvimento do campo, como um entendimento surpreendentemente refinado do ciclo hidrológico. Ele escreveu:

> Agora o Sol, movendo-se como o faz, prepara processos de mudança e surgimento e queda, e por sua ação a água melhor e mais doce todos os dias é carregada e é dissolvida em vapor e sobe à região superior, onde é condensada novamente pelo frio e então retorna à Terra. (ARISTÓTELES, Meteorology, tradução de E.W. Webster, Universidade de Adelaide, 2004, Book 2, Part 2.)

Era um bom começo, mas ainda havia um longo caminho pela frente. Por mais que a observação seguida pelo esforço de imaginar o que estava acontecendo na atmosfera pudesse ser útil, a meteorologia ainda exigiria a construção de instrumentos que ajudassem a medir parâmetros da atmosfera, como pressão, temperatura, vento etc., para poder se desenvolver completamente.

O primeiro barômetro, por exemplo, surgiu em 1643, pelas mãos do cientista italiano Evangelista Torricelli (1608-1647). Trata-se de um aparelho usado para medir a pressão atmosférica. Duas décadas depois, em 1667, o inglês Robert Hooke (1635-1703) construiria um anemômetro, para medir a velocidade do vento.

Saiba mais...

Instrumentos da meteorologia

Barômetros, anemômetros e termômetros são exemplos de instrumentos fundamentais para a meteorologia.

O barômetro mede a pressão atmosférica, sendo que o primeiro construído utilizava uma coluna de mercúrio como escala, daí uma das unidades mais antigas de medição de pressão ser o mmHg, ou milímetro de mercúrio.

O anemômetro é um instrumento que mede a direção, o sentido e a intensidade do vento no local da medição.

O termômetro, o mais comum dos três, mede a temperatura local.



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 5.11. Exemplos de instrumentos de medição: a) anemômetro, b) barômetro e c) termômetro.

Embora a tecnologia tenha evoluído muito de lá para cá, vale lembrar que todos esses instrumentos, apesar de terem sido aprimorados ao longo dos séculos, continuam tão importantes quanto no começo das pesquisas meteorológicas.

E muitos outros se somaram a eles, conforme se tornou possível sondar regiões cada vez mais distantes da atmosfera. Além do desenvolvimento de complexas estações meteorológicas que coletam dados do vento, umidade, temperatura, pressão e índice pluviométrico (quantidade de chuva ao longo do tempo), entre outros, sondagens realizadas com aviões, balões e foguetes de sondagem (por vezes denominados suborbitais) produziram uma visão cada vez mais completa do ambiente atmosférico.

O cenário seria completado pelos satélites meteorológicos, que oferecem, a partir de órbitas variadas em torno da Terra, uma visão global e ao mesmo tempo detalhada do principal objeto de estudo da meteorologia.



Cptec/Inpe. www.cptec.inpe.br/

Figura 5.12. Estação meteorológica.



Satélite meteorológico

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

O primeiro satélite meteorológico do qual se tem notícia é o Television InfraRed Observation Satellite (Tiros), lançado pelos americanos em abril de 1960. Um ano depois, as imagens do satélite Tiros III foram utilizadas para realizar uma das maiores evacuações em massa de que se tem notícia nos EUA. Um contingente de meio milhão de pessoas foi deslocado para escapar ao furacão Carla, que atingiu o estado do Texas e cercanias, provocando a morte de quase 50 pessoas.

Os fundamentos da meteorologia moderna foram lançados por cientistas a partir do século 19. Foi Robert FitzRoy, na Inglaterra, em 1860, quem traçou a primeira carta sinótica, permitindo que previsões fossem feitas, concretizando assim o termo "previsão de tempo".

Vilhelm Bjerknes, em 1904, foi o primeiro a afirmar que era possível prever o tempo por meio de cálculos utilizando as leis da natureza. E também foi Carl-Gustaf Rossby, pertencente ao grupo

de pesquisa de Vilhelm Bjerknes, o primeiro a explicar o escoamento atmosférico em grande escala em termos da dinâmica dos fluidos, a ciência que descreve o movimento de líquidos e gases.

Um dos principais, senão o principal, objetivo dessa ciência é desvendar os mecanismos da dinâmica do tempo e do clima com o intuito de poder prevê-los. E o refinamento que temos hoje nas previsões meteorológicas jamais teria atingido este nível sem as imagens de satélites.

É por meio delas que os meteorologistas podem observar o deslocamento de frentes frias, ciclones tropicais, massas de ar quente ou frio, nuvens e outros elementos detectáveis a partir de uma órbita ao redor da Terra. A visão de completude – ver como as coisas se encaixam numa escala global – é fundamental. Por mais que, aqui embaixo, dividamos a Terra em continentes, países, estados, cidades, quando ela é vista de cima temos a clara percepção de que se trata de um único planeta, um só mundo, totalmente interligado e sem fronteiras políticas.

Saiba mais...

Os ciclones tropicais

Um dos fenômenos meteorológicos mais destrutivos que se conhece são os ciclones tropicais. São ocorrências que têm início nos oceanos e, quando atingem os continentes, o fazem levando grandes quantidades de chuvas e ventos de grande intensidade, provocando, em certos casos, inundações, destruição e morte em grandes proporções.



Figura 5.13. Furacão Catarina.

Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram). http://ciram.epagri.rct-sc.br/

Dois casos recentes estão em nossa lembrança – o furacão Katrina, que assolou a costa americana em 2005, particularmente a cidade de Nova Orleans, e o Catarina, que em 2004 atingiu a costa brasileira na altura do estado de Santa Catarina. Quando eles ocorrem na região das Américas (Caribe e costas dos Oceanos Atlântico e Pacífico), recebem o nome de furacões. Quando ocorrem na costa do Japão, recebem o nome de tufões.

TÃO LONGE, TÃO PERTO! A OBSERVAÇÃO DA TERRA POR MEIO DE SATÉLITES

Quando Yuri Gagarin (1934-1968) foi ao espaço, em 1961, declarou que era possível visualizar até mesmo pequenos detalhes, como grandes construções, na superfície terrestre, a partir da órbita baixa em que ele se encontrava.

A maioria dos cientistas na época ficou surpresa com a revelação – eles jamais imaginaram que detalhes tão ínfimos pudessem ser observados de uma distância tão grande do chão. Pois essa era apenas a primeira revelação de muitas que viriam no setor de observação da Terra. Até hoje, essa é uma das aplicações mais importantes da pesquisa espacial – e uma em que o Brasil se envolve com brilhantismo.

Além de dar pistas sobre a dinâmica da atmosfera e dos oceanos, como vimos anteriormente, as imagens de satélite ajudam a monitorar de forma eficiente as mudanças ocorridas na superfície. Com os satélites-espiões, que permitem distinguir objetos de poucos metros (e em alguns casos menos de um metro) na superfície terrestre, surgem as principais aplicações militares de observação da Terra.



Figura 5.14. Foto feita por satélite-espião.

United States Geological Survey (USGS). http://www.usgs.gov/

Na época da Guerra Fria, americanos e soviéticos usavam essas fotografias feitas sobre solo inimigo para monitorar a disposição de tropas e armamentos. Foi graças a elas, por exemplo, que os americanos tiveram a certeza de que a União Soviética estava desenvolvendo um foguete para viagens lunares tripuladas. Embora os soviéticos tenham sempre negado a existência de tal projeto, imagens de satélite obtidas pelos americanos da base de Baikonur, localizada em uma das antigas Repúblicas Soviéticas, hoje Cazaquistão, na região central da Ásia, mostravam o gigante N-1 sendo preparado para uma tentativa de lançamento.

Saiba mais...

A Guerra Fria

Conflito político-econômico-ideológico surgido da polarização do mundo após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Com a Alemanha nazista derrotada e subjugada, e a Europa devastada pelo conflito, duas grandes potências emergem: os Estados Unidos, com seu modelo capitalista, e a União Soviética, com seu modelo comunista.

Ambos duelariam pelas décadas seguintes para conquistar a hegemonia global. Nesse processo se inserem a corrida armamentista, com o desenvolvimento desenfreado de mísseis e armas nucleares, e a corrida espacial, voltada para o lado propagandístico da corrida. A supremacia na exploração pacífica do espaço servia para enviar mensagens ao mundo sobre qual dos sistemas econômicos tinha maior pujança científica e tecnológica.

A Guerra Fria teve momentos de altos e baixos, mas em nenhum ponto as duas superpotências partiram para um confronto armado direto. Em compensação, disputavam o poder em países periféricos, alimentando guerras locais, como as da Coréia e do Vietnã.

O maior ícone da Guerra Fria foi a divisão da Alemanha em duas, simbolizada pelo muro de Berlim. Com a queda do muro, em 1989, começava a ruir também a bipolaridade do mundo, e a influência soviética. Era um prelúdio da queda do comunismo e do fim da União Soviética, que se dissolveu no início dos anos 1990. A volta do capitalismo à Rússia marcou o fim da Guerra Fria, vencida pelos Estados Unidos.

Os satélites-espiões de outrora nem se comparam aos de hoje em dia, em termos da capacidade de gerar e transmitir imagens, assim como da sua resolução.

Por resolução entende-se a capacidade do instrumento colocado a bordo do satélite de discriminar objetos em função de seu tamanho. Esta característica pode variar de centenas de metros em satélites convencionais dotados de câmeras de largo campo de visada, a poucos metros ou ainda menos.

Esse é o caso das câmeras instaladas a bordo de artefatos americanos e russos, que conseguem distinguir até mesmo objetos com uns poucos centímetros de largura na superfície. E o que antes

era tido como material altamente confidencial hoje serve para divertir e satisfazer a curiosidade das pessoas. Basta visitar o sítio Google Earth (http://earth.google.com) e descarregar um simples programa de computador que dá acesso a imagens que permitem identificar claramente prédios e outras instalações em qualquer local do planeta.

Apesar desses avanços incríveis, a capacidade de ver os detalhes às vezes elimina a chance de ter a percepção do todo. Em estudos ambientais, é fundamental que grandes áreas sejam monitoradas ao mesmo tempo, nas mesmas imagens, e que os dados contidos nelas sejam processados o mais rapidamente possível.

Um grande exemplo de aplicação desse tipo vem do Brasil. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), desde os anos 1970, desenvolve a habilidade de interpretar imagens de satélite, inicialmente compradas dos americanos, como as obtidas pela série Landsat (programa de satélites de observação terrestre desenvolvido pelos Estados Unidos), para quantificar o desmatamento que ocorre ano a ano nas regiões com cobertura de florestas no País, que passaria a ser conhecido como Projeto Desflorestamento da Amazônia Legal (Prodes).



Inpe. http://www.inpe.br/

Figura 5.15. Comparativa mostrando uma região ainda não desmatada e já devastada anos depois.

O trabalho culminou, em tempos recentes, com o desenvolvimento do Projeto Deter, sigla para Detecção de Desmatamento em Tempo Real. Realizado pelo Inpe com apoio do Ministério do Meio Ambiente e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), o esforço serve não somente para monitorar a destruição da Floresta Amazônica – um dos maiores patrimônios naturais do País, possivelmente o maior –, mas para facilitar sua proteção.

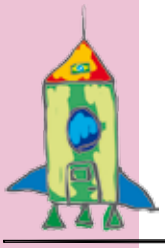
Com o monitoramento em tempo real, é possível reagir mais rapidamente ao desmatamento ilegal e levar os culpados à Justiça.

Atualmente, o Deter trabalha com o processamento de imagens obtidas por um instrumento (chamado Modis) instalado a bordo de dois satélites da Nasa: o Acqua e o Terra. Em tempos mais recentes, o esforço também incorporou o uso de imagens obtidas pelo satélite sino-brasileiro Cbers-2 – mostrando a crescente capacitação brasileira não somente para processar adequadamente os dados, mas também para coletá-los com equipamentos nacionais levados ao espaço.

Os dois trabalhos de monitoramento da floresta conduzidos pelo Inpe são complementares – enquanto as avaliações ano a ano (Prodes) oferecem dados mais consistentes da perda de cobertura florestal, os dados processados no Deter perdem em precisão, mas ganham em agilidade, permitindo a identificação rápida de locais em processo de desmatamento.

O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações sobre a superfície de objetos sem a necessidade de contato direto com os mesmos.

Nossos olhos também funcionam dessa maneira, distinguindo formas, cores e outras propriedades por meio da luz refletida que chega até eles.



Essa duplicidade mostra o quão versátil é a pesquisa espacial – cada aplicação de observação da Terra precisa ser cuidadosamente "modulada", a fim de atender uma ou outra necessidade.

A todas essas possibilidades de identificação de fenômenos a partir de observações feitas do espaço dá-se o nome genérico de "sensoriamento remoto".

No Brasil, é natural que as atenções estejam majoritariamente voltadas para o controle da Amazônia. Mas outros temas ambientais importantes podem ser abordados com tecnologias espaciais.

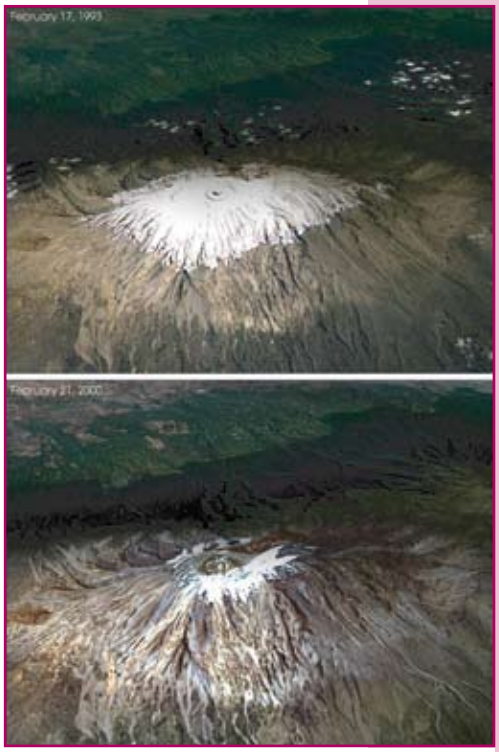
No Reino Unido, por exemplo, a principal preocupação é com o derretimento de massas de gelo nas altas latitudes (o exemplo mais proeminente é a Groenlândia, que está perdendo em ritmo acelerado o gelo acumulado ali por conta das altas recentes de temperaturas ocasionadas pelo aquecimento global).

Não é surpreendente, se considerarmos que a Grã-Bretanha é uma ilha, e que a elevação do nível dos mares pode ter um impacto considerável naquele país. Isso sem falar no fato de que o clima ameno daquela região ocorre graças a certas correntes marítimas ligadas à temperatura das águas no oceano Atlântico. Os detalhes ainda são incertos, mas os cientistas desconfiam que o acirramento da mudança climática pode ocasionar mudanças drásticas nessa dinâmica.

Outras regiões do mundo têm outras preocupações – a proteção das florestas também é um tema importante no Sudeste Asiático, e o aumento dos desertos é um problema grave a ser acompanhado no norte da África. O monte Kilimanjaro, na Tanzânia, está perdendo a neve que cobre o seu cume.

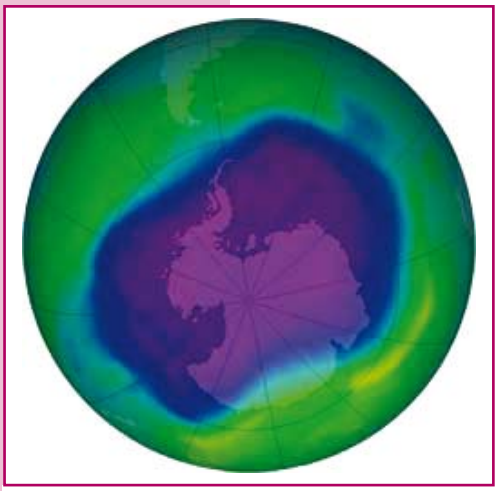
Um outro fenômeno atmosférico relevante é o do buraco na camada de ozônio que recobre o Pólo Sul, cujo acompanhamento é feito em larga medida por meio do uso de sensores a bordo de satélites.

O seu comportamento tem uma periodicidade anual e constitui um indicador importante de impacto



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.16A e B. Kilimanjaro antes e depois do derretimento de suas neves permanentes.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 5.17. Imagem de satélite mostrando o buraco na camada de ozônio sobre o Pólo Sul.

em escala global da atividade humana. Neste caso, foi possível estabelecer uma conexão direta entre o fenômeno global (buraco na camada de ozônio) e uma ameaça para a saúde das pessoas (maior incidência de câncer de pele em virtude do aumento na intensidade dos raios ultravioleta, que deixaram de ser filtrados pelo ozônio).

Isto levou a uma rápida mobilização política em escala mundial, que teve como resultado a redução na produção e emissão de gases destruidores da camada de ozônio (clorofluorocarbonos – CFC).

A questão da descoberta da redução da camada de ozônio teve uma origem até certo ponto inusitada. Em artigo publicado em junho de 1974, na revista Nature, os cientistas M.J. Molina e F.S. Rowland (Universidade da Califórnia – EUA) foram considerados alarmistas ao alertarem a comunidade científica a respeito dos riscos da destruição da camada de ozônio pela ação dos CFCs. Rowland e Molina faziam pesquisa básica e usavam constantes das taxas de reações químicas envolvendo o cloro. Os valores dessas constantes de reações tinham sido obtidas a partir de um trabalho patrocinado pela Nasa. Por que a Nasa? Porque Vênus tem moléculas de flúor e cloro em sua atmosfera e a Nasa pretendia conhecer melhor a atmosfera daquele planeta.

Em 1995, ambos tiveram o reconhecimento pelo seu trabalho e, juntamente com Paul Crutzen (artigo de 1970 sobre o efeito do óxido nitroso na destruição do ozônio), foram agraciados com o Prêmio Nobel em Química.

Outro benefício evidente da enorme disponibilidade de imagens da superfície da Terra a baixo custo está na sua utilização como recurso didático inovador em sala de aula. Com elas é possível proporcionar aos estudantes uma experiência motivadora ao permitir que eles observem e lidem com imagens que retratam as cidades e regiões onde moram.

Nestas imagens eles podem reconhecer os acidentes geográficos naturais, as conseqüências da ocupação do solo pelos seres humanos, para construir cidades ou para atividades produtivas (comércio, indústrias, serviços, agricultura, pecuária), os traçados dos rios e estradas que lhes são familiares, as plantações e florestas próximas, ou até mesmo as ruas onde moram. Dificilmente uma aula convencional de geografia ofereceria este tipo de informação.

Assim, a educação pode se beneficiar com dados atualizados sobre o território de nosso país, inclusive obtendo gratuitamente imagens do satélite Cbers, disponíveis no sítio do Inpe (http://www.inpe.br/).

As revelações sobre a Terra feitas do espaço são surpreendentes, mas não são os únicos benefícios trazidos para a sociedade moderna. As inovações tecnológicas obtidas ao longo do processo de exploração espacial, particularmente em sua fase inicial, também causaram um enorme impacto social e econômico. Essas tecnologias acabaram impregnando e mudando radicalmente o modo de vida dos seres humanos.

Adicionalmente, é importante notar que quanto maiores as dimensões territoriais de uma nação, maiores são os benefícios que ela pode auferir com o uso das tecnologias espaciais, seja para observar áreas pouco povoadas de seu território, para exercer algum tipo de patrulhamento de fronteiras distantes e extensas, para acompanhar fenômenos meteorológicos que ocorrem sobre grandes áreas territoriais, para prover comunicação e navegação a grandes distâncias etc.

O território brasileiro se encaixa perfeitamente nessa categoria. Somos uma nação que já se beneficia e poderá se beneficiar ainda mais no futuro, à medida que ampliamos nosso domínio dessas tecnologias. Com elas exploraremos nosso território em uma outra dimensão – na dimensão do que hoje se chama "território digital", ou seja, o território virtual posto à nossa disposição pelas várias tecnologias de obtenção de dados a partir do espaço.

SUBPRODUTOS DA EXPLORAÇÃO ESPACIAL



As células a combustível são largamente utilizadas em missões espaciais tripuladas. A partir da reação química do hidrogênio (H_2) e oxigênio(O_2) são gerados eletricidade e água potável (H_2O). Atualmente, já se produzem carros que fazem uso de célula a combustível.

As tecnologias desenvolvidas ou aprimoradas por estímulos vindos da área espacial são inúmeras. Uma delas são as chamadas células a combustível. Foram concebidas como uma espécie de bateria elétrica que consome hidrogênio e oxigênio para gerar energia, emitindo um subproduto não-poluente (água). Seu primeiro uso ocorreu no espaço, para fornecer eletricidade a naves espaciais tripuladas. Esta tecnologia poderá no futuro substituir as fontes de energia atuais para automóveis, hoje baseadas na queima de petróleo e altamente poluentes.

O desenvolvimento de painéis solares – outra fonte de energia limpa para o futuro – também foi grandemente estimulado pela exploração espacial. As células fotovoltaicas, que são os elementos que convertem a luz solar em energia elétrica, são hoje amplamente utilizadas em produtos eletrônicos de consumo geral.

Saiba mais...

Do espaço à Terra

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Painéis solares são dispositivos que convertem cerca de 20% da energia recebida do Sol em eletricidade. Em geral, eles são enormes e facilmente identificáveis em um satélite. No caso do Cbers, ele possui 16 m^2 de área, gerando 1.100 W de potência. O mesmo princípio é usado em terra para obter energia elétrica em regiões remotas e de difícil acesso, como é o caso, por exemplo, das plataformas de coleta de dados (PCDs), distribuídas pelo território nacional, para envio de dados aos satélites da série Satélite de Coleta de Dados (SCD).



Inpe. http://www.cbers.inpe.br/

Figura 5.18. Cbers-1 com o painel solar aberto.

Da mesma maneira, medicamentos tornam-se possíveis graças a pesquisas em ambiente de microgravidade (com sensação de ausência de peso) realizadas em órbita, e a tecnologia de engenharia de materiais também se beneficia dos estudos realizados no espaço.

E, assim como esses, muitos outros casos parecidos podem ser trazidos à tona. Mas citar áreas específicas acabaria por esconder o que há de mais importante nesta revolução – as modificações que ela trouxe para o cotidiano das pessoas.

Hoje, por exemplo, ninguém se surpreende quando vê um aparelho de telefone celular que contém uma câmera digital para tirar fotografias e serve praticamente como um computador de bolso, para agendar compromissos, anotar telefones e até mesmo jogar videogame. Uma olhada na história por trás de um dispositivo desses, entretanto, inevitavelmente nos remete à exploração espacial.

Os computadores, por exemplo. Houve uma época, em meados do século 20, em que eles eram máquinas gigantes, do tamanho de salas inteiras. Em vez de disquetes ou CDs, eram alimentados com dados por cartões perfurados. E sua principal utilidade era funcionar como sofisticadas calculadoras.

Os cálculos de trajetórias de objetos em vôo espacial são dos mais complicados, a despeito de serem regidos pela ilusoriamente simples teoria da gravitação universal de Isaac Newton – um computador que os fizesse pouparia muito trabalho e esforço, o que motivou o desenvolvimento dessas máquinas no início da era espacial.

Mais que isso, contudo, um computador que fosse levado a bordo de uma nave, como as Apollos que foram à Lua, não poderia ocupar o espaço de uma sala inteira. Não é exagero dizer que o caminho para o espaço teve um papel fundamental na evolução dos computadores e na necessidade de torná-los tão compactos quanto possível.

Podemos ainda falar da câmera digital – invenção que é fruto direto da exploração espacial. Não é difícil visualizar o porquê. As espaçonaves não-tripuladas que primeiro visitaram a Lua e os planetas mais próximos, entre o fim dos anos 1950 e o início dos anos 1960, faziam viagens apenas de ida; seus planos de vôo nunca contiveram a idéia de retornar à Terra.

Como então transmitir as fotos obtidas daqueles mundos distantes para os cientistas, se não havia como trazer o filme fotográfico de volta para revelá-lo? As primeiras sondas tinham um complicado sistema de revelação automática do filme a bordo. Depois de reveladas, as fotos eram "filmadas" com uma câmera de tevê e seu sinal era transmitido à Terra. Mas a qualidade, como se pode imaginar, era muito ruim.

Em outros casos, como em satélites-espiões, os filmes fotográficos eram ejetados dos satélites e caíam de volta na Terra, sendo freados pelo atrito com a atmosfera e por pára-quedas. Um processo caro e arriscado.

Resultado: logo os cientistas tiveram que inventar um meio mais prático de obter essas fotografias, criando dispositivos eletrônicos sensíveis à luz, capazes de converter automaticamente a luz em imagens passíveis de transmissão por rádio. Eram os primeiros *Charged Coupled Devices* (CCDs) [Dispositivo de Cargas Acopladas], dispositivos que funcionam nas câmeras digitais hoje tão comuns. Os mesmos dispositivos também equipam sensores a bordo de satélites como o Cbers, por exemplo.



Da máquina fotográfica à câmera de um satélite

Todos os instrumentos colocados em órbita apresentam uma arquitetura semelhante.

Para um melhor entendimento, uma boa analogia seria uma máquina fotográfica digital, como as que hoje já são tão populares. Elas são constituídas por lentes, que captam a luz e a dirigem para um elemento detector (CCD). Este tem a forma de uma matriz de pontos sensíveis, em que cada um deles converte a luz em sinais elétricos. Os sinais de cada um dos pontos são então processados e enviados para uma memória, onde ficam registrados. Da câmera, a imagem pode ser extraída e transferida para uma impressora, para um computador, ou até mesmo transmitida por meio de um telefone celular ou por correio eletrônico.

No caso dos instrumentos colocados em órbita dentro de satélites, um elemento coletor concentra o fluxo de energia em um elemento detector. Este, por sua vez, produz um sinal elétrico que é então processado e armazenado a bordo em gravadores. Em seguida, os dados são enviados para a Terra por meio de sinais de rádio.

Os satélites modernos transportam uma grande quantidade e variedade de sensores. A título de exemplo, o satélite ambiental Terra, da agência espacial americana Nasa, possui um conjunto de sensores projetados para observar simultaneamente a atmosfera, o solo, os oceanos e as camadas de gelo que cobrem nosso planeta.

Finalmente, a principal função do aparelho de telefone celular é no setor de comunicações. E provavelmente não houve área cujo impacto da exploração espacial foi mais profundo. Não é exagero dizer que os artefatos espaciais transformaram o planeta Terra, de fato, numa "aldeia global". Mas claro que, quando a idéia que permitiria isso apareceu pela primeira vez, foi tida como loucura, a despeito dos avisos de seu proponente de que tudo não era tão fantasioso quanto poderia parecer.

TELECOMUNICAÇÕES EM ESCALA GLOBAL

> Muitos podem considerar a solução proposta nesta discussão muito absurda para ser levada a sério. Uma atitude assim não é razoável, uma vez que tudo imaginado aqui é uma extensão lógica dos desenvolvimentos nos últimos dez anos. (CLARKE, A. C. 1945, p. 305).

Foi com as palavras acima que Arthur C. Clarke, o famoso engenheiro e escritor de ficção científica, autor do clássico "2001: uma odisséia no espaço", começou a descrever sua idéia para solucionar de uma vez por todas as dificuldades para transmissões de longa distância, fossem elas de rádio, telefonia ou televisão.

O artigo do escritor britânico foi publicado na revista Wireless World em outubro de 1945, época em que a coisa mais avançada em exploração espacial eram os mísseis V-2 (bombas foguete de grande poder destrutivo para a época lançadas sobre Londres a partir do continente europeu durante a II Guerra Mundial) de Wernher von Braun. Mas, com seu típico espírito visionário, Clarke parecia convicto de que sua proposta no fim das contas iria mudar o mundo.

Ele começa apresentando o conceito de órbita geoestacionária. Cada órbita possível em torno de um objeto celeste exige uma velocidade diferente para que o objeto ali permaneça. As órbitas mais curtas (conseqüentemente, de menor diâmetro) são as que pedem maiores velocidades. As voltas mais baixas possíveis em torno da Terra exigem uma velocidade de cerca de 28.000 km/h, e são completadas num período de cerca de 90 minutos. Quanto maior a órbita (em outras palavras, quanto mais distante o satélite estiver da Terra), menor a velocidade requerida e maior o tempo que um satélite leva para dar uma volta completa. Seguindo esse raciocínio à risca...

> Podemos observar que uma dada órbita (...) tem um período de exatamente 24 horas. Um corpo numa órbita assim, se o plano coincidisse com o do equador terrestre, giraria ao redor da Terra e, portanto, seria estacionário sobre o mesmo ponto do planeta. Ele permaneceria fixo no céu de um hemisfério inteiro e, diferentemente de todos os outros corpos celestes, não iria nascer nem se pôr. (CLARKE, A. C. 1945, pp. 305-306).

Com essas palavras, Arthur Clarke descrevia o conceito do satélite geoestacionário – vale lembrar que nada no espaço até hoje rendeu mais dinheiro que isso. E o mundo jamais seria o mesmo depois deles.

Em seu artigo, o engenheiro mostrou a vantagem de postar estações de transmissão e recepção espaciais em uma órbita geoestacionária e demonstrou que, com apenas três satélites, seria possível obter cobertura global. Os três satélites formariam um triângulo eqüilátero tendo a Terra como centro. Segundo Clarke, caso fosse preciso fazer uma transmissão do Brasil para o Japão, bastaria enviar um sinal para o satélite geoestacionário mais próximo do território brasileiro, que por sua vez redirecionaria a transmissão para o satélite mais próximo do Japão, que então rebateria o sinal, para ser captado em solo japonês.

Na prática, o sistema é um pouco mais complexo que o imaginado por Clarke. Para dar vazão a toda a demanda, somente três satélites não seriam suficientes; por esta razão, há dezenas em órbita.

A comunicação entre satélites geoestacionários também não é realizada de forma regular, mas apenas em escala experimental – as comunicações normalmente vão do solo para um satélite, voltam para o solo em um ponto distante, subindo em seguida para outro satélite, e assim sucessivamente. O único caso de transmissão regular entre satélites não-militares é o do sistema TDRS da Nasa, que suporta as comunicações de seus satélites científicos, do ônibus espacial e da ISS.

É graças a esse mecanismo que hoje todos nós podemos assistir a eventos esportivos, como as Olimpíadas e a Copa do Mundo, ao vivo, via satélite. Nada disso teria sido possível, se não fosse pelo desenvolvimento das telecomunicações por meio de artefatos espaciais.



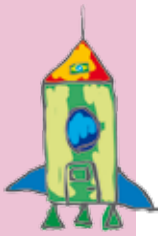
A primeira transmissão via satélite

José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

A primeira transmissão via satélite ocorreu em 10 de julho 1962 entre os EUA e a França, por meio do satélite americano Telstar. Em função da sua órbita bastante elíptica (não era uma órbita do tipo geoestacionária), a transmissão ocorria durante 20 minutos, a cada duas horas e meia da sua órbita. No Brasil, a primeira transmissão via satélite ocorreu em 28 de fevereiro de 1969. Tratou-se de uma mensagem do papa Paulo VI ao povo brasileiro, gravada na véspera.

Hoje em dia, o mercado de lançamento de satélites geoestacionários é extremamente significativo – bilhões de dólares são investidos todos os anos nessa atividade. Grandes empresas muitas vezes compram seus próprios satélites de telecomunicações e pagam por seu lançamento ao espaço – a brasileira Embratel já foi uma delas –, para depois recuperar o investimento explorando os canais de transmissão disponíveis ou alugando-os a outras companhias que precisem do serviço.

Os satélites geoestacionários são dispostos em um cinturão distante cerca de 36 mil km da superfície da Terra. Os satélites são distribuídos em diferentes longitudes, dependendo da região do planeta que será atendida pelos seus serviços.



Além de satélites, a comunicação entre continentes ainda faz uso intensivo dos cabos submarinos, feitos atualmente de fibra ótica.

Para evitar que um mesmo espaço seja disputado por mais de um satélite, bem como para evitar que mais de um satélite utilize uma mesma freqüência de transmissão, o que causaria interferências que prejudicariam o funcionamento de ambos, há organismos internacionais patrocinados pela Organização das Nações Unidas (ONU) que disciplinam a utilização desta que é a mais valiosa de todas as órbitas. Assim, ela é tratada como um patrimônio universal cuja utilização por organizações públicas ou privadas é feita respeitando regras comuns elaboradas e aceitas pela maioria das nações.

LOCALIZAÇÃO VIA SATÉLITE

O primeiro desses sistemas a ser estabelecido e usado com freqüência no Ocidente foi o chamado Navstar GPS, mais conhecido como *Global Positioning System* (GPS) [Sistema de Posicionamento Global] criado pelos Estados Unidos.

Composto por uma rede de 24 satélites ao redor da Terra (o primeiro elemento foi lançado em 1978), o GPS americano serve para que qualquer pessoa, dotada de um equipamento próprio para se conectar ao sistema por meio de ondas de rádio, possa saber com precisão em que coordenadas do globo (latitude, longitude e altitude) ela se encontra.

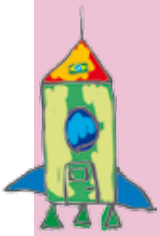
Até mesmo para quem está o tempo todo mais ou menos na mesma região do planeta, saber as coordenadas exatas de sua localização está se tornando cada vez mais valioso. Hoje, há sistemas de GPS instalados em veículos que ajudam a localizar rotas para fugir do tráfego ou para achar uma rua distante.

Calcule então a importância e o impacto dessas informações para o tráfego aéreo, por exemplo. Com tantos aviões no ar, como

existem hoje, é fundamental que todos saibam exatamente onde estão, para evitar acidentes nas rotas mais movimentadas e mesmo se certificar de que as aeronaves estão em seu curso correto.

Conforme o sistema começou a se tornar disponível a mais pessoas, novas aplicações foram surgindo, que envolvem aplicações tão díspares quanto estudos geológicos, agrimensura, administração de agricultura e sincronização de relógios ao redor do mundo.

Agrimensura – a ciência/técnica da medição da terra – é talvez, junto com a astronomia, uma das mais antigas ciências/técnicas desenvolvidas pelo ser humano.



Um outro uso, cada vez mais difundido, é o GPS para automóveis de passeio e caminhões que são rastreados para evitar o roubo de cargas ou mesmo utilizam o sistema para mostrar as melhores rotas para se chegar aos lugares.

O uso hoje é tão disseminado que existe forte concorrência se desenvolvendo aos serviços prestados pelo GPS americano. Na Rússia, existe uma rede própria, denominada *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (Glonass) [Sistema de Satélites para Navegação Global], com 24 satélites nas mais diferentes órbitas. E a União Européia recentemente iniciou a formação de seu próprio concorrente, chamado Galileo – o primeiro satélite da rede, dos 30 planejados, foi lançado em dezembro de 2005 e o sistema todo deve estar operacional na próxima década.



Figura 5.19. Uso do GPS em um veículo.

Wikipedia Commons. http://www.wikipedia.org/

Como se vê, há muitas aplicações que são possíveis apenas graças à exploração espacial. E há muitas possibilidades para desenvolvimento econômico para os países que decidirem investir no setor.

O Brasil, felizmente, está em boa posição. Por duas razões: em primeiro lugar, a despeito dos problemas (que envolvem

principalmente a falta de recursos) e da lentidão com que é conduzido o programa espacial nacional, o País já tem uma tradição consolidada no campo, iniciada em 1961. Em segundo lugar, o Brasil possui um território vasto e, nele, uma região específica que apresenta vantagens econômicas e estratégicas praticamente insuperáveis no mercado de lançamentos comerciais.

PROBLEMAS E DESAFIOS DO LIXO ESPACIAL



ESA. http://www.esa.int/

Figura 5.20A e B. Representação artística dos milhares de satélites em órbita da Terra.

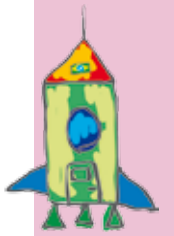
Ao que parece, é uma das sinas do ser humano poluir cada novo ambiente que ocupa antes mesmo que seja capaz de entendê-lo. Com o espaço, não tem sido diferente. E hoje existe uma grande preocupação com os chamados detritos espaciais.

O grande problema é que, uma vez que objetos vão parar no espaço em velocidade orbital, é muito difícil tirá-los de lá. Lascas de tinta, pedaços de foguetes, parafusos soltos – todos esses cacarecos se tornam pequenos "satélites artificiais", viajando em torno da Terra a 28 mil quilômetros por hora. Uma colisão com um desses detritos, por menor que ele seja, pode ser fatal para satélites de verdade ou mesmo espaçonaves tripuladas. E a única coisa, no momento, que pode tirá-los de lá é a atmosfera terrestre, que só atinge as órbitas mais baixas. Destroços em órbitas mais altas do que 800 km da superfície da Terra estarão lá por décadas; mais altas do que 1.000 km, por séculos; e, acima de 1.500 km, praticamente para sempre.

Desde o Sputnik 1, em 1957, estima-se que o homem tenha enviado à órbita terrestre mais de 5.400 satélites. Desses, cerca

de 10% estão operacionais. Os "aposentados", em boa parte dos casos, ainda continuam no espaço – como lixo espacial. Isso sem falar nos pequenos detritos.

Se você deseja saber onde está a Estação Espacial Internacional (ISS) e outros satélites, acesse http://science.nasa.gov/realtime



Redes de monitoramento de destroços montadas nos Estados Unidos e na Rússia acompanham constantemente os pequenos pedaços. Cerca de 9.000 objetos maiores que 10 centímetros localizados em baixas órbitas são mantidos sob constante vigilância, mas as estimativas são de que haja mais de 100 mil pequenos fragmentos resultantes de atividades humanas com tamanho comparável a uma bolinha de gude.

Já há registros, embora raros, de satélites que tenham parado de funcionar por conta de impacto com um detrito espacial. Na maior parte das vezes, o que ocorre são pequenas colisões que não chegam a comprometer o seu funcionamento. Notáveis observações foram feitas na estação espacial russa Mir, nas missões dos ônibus espaciais americanos e em satélites cujas peças foram recuperadas para análise posterior em terra, como ocorreu na troca dos painéis solares que alimentam o Telescópio Espacial Hubble. Diversos experimentos também foram colocados em órbita para medir os riscos de impacto com lixo espacial.

A crescente preocupação com o problema levou o Comitê das Nações Unidas para os Usos Pacíficos do Espaço a produzir, em 1999, um relatório técnico sumarizando o conhecimento acerca dos detritos espaciais. Ficou constatado que as fragmentações de estágios superiores de foguetes e as naves espaciais compõem aproximadamente 43% da população de satélites identificada e podem responder por até 85% de todos os destroços espaciais maiores que cinco centímetros.

Para as atividades espaciais, os restos de lançamentos anteriores são muito mais perigosos do que pequenas rochas espaciais. Para que se tenha uma idéia da escala, a cada dado momento, há em torno da Terra cerca de 200 quilos de rochas na região que vai do topo

da atmosfera até os 2.000 km de altitude. No mesmo espaço, há 3.000 toneladas de destroços introduzidos por ação humana.

As projeções do relatório das Nações Unidas estimam problemas crescentes resultantes do acúmulo de lixo espacial. Aliás, hoje em dia, o problema já causa preocupações. As naves espaciais atuais são feitas com reforços capazes de agüentar impactos de objetos menores. A Estação Espacial Internacional (ISS) também é projetada nesses moldes. Ainda assim, isso só serve para proteger contra pequenos impactos – e mesmo nesses casos não há garantias.

Diversas organizações nacionais se mobilizam hoje em dia para criar mecanismos de controle para o problema. Nos Estados Unidos – responsável, junto com a Rússia, pela geração de pelo menos 40% dos destroços em órbita –, a Nasa, o Departamento de Defesa (DOD), a Administração Federal de Aviação (FAA) e a Administração Nacional de Oceano e Atmosfera dos EUA (Noaa) trabalham no sentido de atingir os seguintes objetivos: controlar os destroços liberados durante operações de rotina; minimizar os destroços gerados por explosões acidentais; selecionar trajetórias e configurações operacionais seguras para veículos espaciais; regular o descarte de estruturas espaciais após sua vida útil.

No âmbito internacional, a Agência Espacial Européia tem adotado uma política pró-ativa na limitação da criação de destroços em órbita. Em 2002, o Comitê de Coordenação de Destroços Espaciais Inter-Agências (IADC) adotou guias normativas para reduzir o crescimento do lixo espacial. Também a Organização Internacional de Normalização (ISO), por intermédio de seu Grupo de Trabalho de Destroços Espaciais (ODWG), vem desenvolvendo normas nas áreas de projeto, operação e descarte de estruturas espaciais que devem ser publicadas em breve.

O trabalho dessas organizações busca estabelecer recomendações de boas práticas que venham a ser acatadas por todas as organizações que desenvolvem atividades espaciais. Dentre as técnicas recomendadas, destacam-se a remoção de satélites, cujas vidas úteis tenham expirado, para órbitas sem interesse, ou sua completa retirada

da órbita da Terra, para que se queimem ao reentrar na atmosfera.

As mesmas recomendações valem para os últimos estágios dos lançadores de satélites, que por muito tempo permanecem em órbita. Na eventualidade de uma explosão, causada pelos restos de combustíveis armazenados em seus tanques, mais detritos são gerados.

Moral da história: o espaço traz promessas maravilhosas para a humanidade, mas teremos antes de aprender a explorá-lo com segurança, ou estaremos condenados a, em pouco tempo, vermos a era espacial terminar com a Terra envolta por uma perigosa barricada composta por nosso próprio lixo. Felizmente, já conhecemos o problema e os engenheiros trabalham hoje para produzir foguetes e satélites que produzam cada vez menos detritos espaciais.



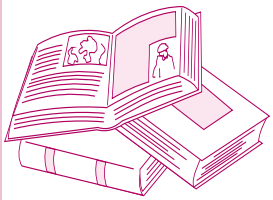
Long Duration Exposure Facility, (LDEF) *Archive System*, Nasa. Langley Research Center, Hampton, Virginia. http://www.nasa.gov/

Figura 5.21A e B. Dano causado por lixo espacial ou micrometeorito a um satélite.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.22. Restos de lançadores caídos de órbita.



LEITURAS COMPLEMENTARES

OS SATÉLITES E SUAS ÓRBITAS

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).



Nasa. http://www.jpl.nasa.gov/

Figura 5.23. Ilustração semelhante a uma elaborada por Isaac Newton, quando este apresentou a Lei da Gravitação Universal.

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

O satélite mantém-se em órbita devido à aceleração da gravidade e à sua velocidade. Dessa maneira, ele permanece em constante queda livre em torno da Terra, comportando-se como se estivesse "preso" em sua órbita. É importante notar que satélites podem ficar girando em órbita da Terra por um longo tempo, indefinidamente em certos casos, sem que seja necessário consumir combustível continuamente, como é o caso dos aviões.

A Figura 5.23 apresenta uma série de três ilustrações semelhantes a uma elaborada por Isaac Newton, quando este apresentou a Lei da Gravitação Universal, em 1687. Ela sugere que, de um canhão suficientemente potente colocado no alto de uma montanha, seria possível lançar um projétil que permaneceria em órbita da Terra. Guardadas as devidas proporções, essa foi uma sugestão tecnicamente fundamentada de como seria possível colocar um artefato em órbita de nosso planeta.

Uma outra forma de explicar o fenômeno seria imaginando um experimento de lançamento de uma pedra.

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

As órbitas sofrem alterações ao longo do tempo, pois outras forças atuam sobre o satélite. Dentre elas destacam-se as atrações gravitacionais do Sol e da Lua, além dos efeitos da pressão de radiação solar e do arrasto atmosférico. Este último é causado pelo choque dos satélites com átomos remanescentes da atmosfera terrestre ainda encontrados a poucas centenas de quilômetros da superfície. São efeitos pequenos, mas que acumulados ao longo do tempo causam alterações no movimento orbital. Por isso, os satélites precisam ser equipados com dispositivos para corrigir sua órbita, que têm a forma de pequenos motores foguete.

O número de órbitas possíveis em torno da Terra é infinito, bastando para tanto que satélites ou astronaves colocados em órbita estejam fora das camadas mais densas da atmosfera, caso contrário, eles rapidamente perderão energia por atrito e cairão. As órbitas terrestres consideradas baixas são as circulares distantes entre 200 km e 2.000 km da superfície da Terra. A título de exemplo, elas são as mais utilizadas por missões tripuladas (o ônibus espacial e a Estação Espacial Internacional estão situados entre 300 km e 400 km). Nessa região é que se localiza a maioria dos satélites científicos e de observação da Terra, como é o caso do satélite sino-brasileiro Cbers, que fica a 780 km de altura.

Dentre as órbitas classificadas como altas, a mais importante é aquela na qual está situada a maioria dos satélites de telecomunicações

e meteorológicos – os chamados "satélites geoestacionários". Essas órbitas distam aproximadamente 36.000 km da superfície terrestre e nelas o tempo que leva o satélite para dar uma volta na Terra (período da órbita) é de 24 horas (mais exatamente 23 horas, 56 minutos e 4 segundos). Quando observado da Terra, a longitude destes satélites fica inalterada, embora sua latitude possa variar para cima e para baixo. Em termos práticos, se ele estiver em uma órbita geoestacionária que também seja equatorial, o satélite ficará aparentemente "parado" com relação a um ponto na superfície de nosso planeta.

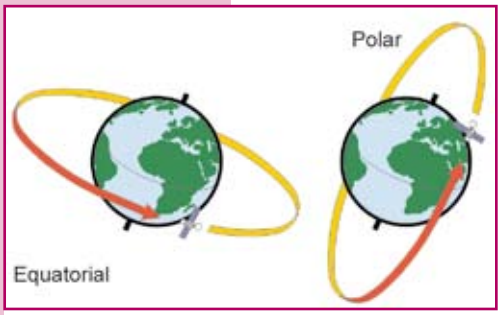


Figura 5.24. Órbitas equatoriais e polares.

Além da altitude das órbitas, outros fatores também as diferenciam. Um deles é a forma da órbita, que pode ser elíptica ou circular (caso da maioria dos satélites atuais). Outro é o plano da órbita, que pode variar do equatorial ao polar. No primeiro, uma linha imaginária ligando o centro da Terra ao satélite cruzaria a superfície do planeta pela linha do equador. No segundo, esta linha passaria alternadamente pelos pólos Norte e Sul.

Tudo o que foi dito acima se aplica indistintamente a qualquer objeto, natural ou artificial, colocado em órbita da Terra, pois as leis físicas que definem os movimentos orbitais são universais. Também é o caso para as sondas interplanetárias, estas naves que saem da órbita terrestre e buscam os outros planetas do sistema solar. O que muda neste caso é que as definições adotadas para classificar as órbitas em torno da Terra perdem o valor.

Sandro Eduardo A. Sereno/TV Vanguarda, publicada na Apostila 12 - Os Satélites de Comunicação e a Televisão.

OS SATÉLITES ARTIFICIAIS E SUA TECNOLOGIA

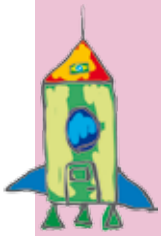
Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Uma missão utilizando satélites envolve várias partes. A mais notória é a que é colocada no espaço. Cada uma delas é geralmente designada "segmento". Dentre os vários segmentos existentes, os mais conhecidos são: Segmento Espacial, que é a parte que é colocada em órbita, também designada "satélite"; o Segmento Lançador, que é a parte utilizada para a colocação do satélite em órbita, também designada "foguete" e, finalmente, o Segmento Solo, que é a parte encarregada da supervisão do funcionamento do satélite, de seu controle e da recepção dos dados de seus instrumentos.

O segmento espacial, ou satélite, é normalmente dividido em duas grandes partes. A primeira delas é designada "Plataforma" e contém todos os equipamentos necessários para o funcionamento do satélite. A segunda parte é denominada "carga-útil" e é constituída pelos equipamentos requeridos para o cumprimento da missão dos satélites. Os equipamentos que formam a Plataforma dos satélites são normalmente organizados em subsistemas.

Subsistemas são partes de um sistema. Esta é uma forma prática que a engenharia moderna utiliza para dar maior eficácia ao processo de produção de um equipamento complexo. Com isso é possível dividir o trabalho e entender melhor cada uma das partes envolvidas. Essa abordagem normalmente resulta em um menor custo e maior qualidade do produto.

Tipos de satélites:
- *Astronômicos*
- *de Comunicações*
- *Meteorológicos*
- *Militares*
- *de Navegação*
- *de Observação da Terra*



No caso de satélites, isso é feito para sistematizar o trabalho de especificação, compra, projeto, revisão, montagem e testes, dividindo-o em áreas de competência. Os subsistemas usualmente encontrados nos satélites convencionais são os sete seguintes:

1. **Controle de atitude:** tem por objetivo controlar o apontamento do satélite no espaço. Faz uso de sensores que determinam com base na posição da Terra, do Sol e das estrelas para onde o satélite está apontado. Em complemento aos sensores, o subsistema utiliza atuadores que aplicam torques que giram o satélite em torno de seu centro de massa.
2. **Suprimento de energia:** tem por objetivo fornecer a energia necessária para o funcionamento do satélite. Utiliza equipamentos como painéis solares e baterias. Os painéis solares são necessários já que, devido à longa duração das missões, não seria possível suprir as necessidades dos satélites apenas com baterias previamente carregadas em Terra. Os painéis solares são recobertos com células fotovoltaicas, que são elementos capazes de converter a luz solar em energia elétrica, gerando voltagem e corrente que alimentam os demais equipamentos.
3. **Telecomunicação de serviço:** tem por objetivo enviar e receber os dados que permitem o acompanhamento do funcionamento e o comando do satélite. Utiliza transmissores, receptores e antenas.
4. **Gestão de bordo:** tem a finalidade de processar as informações recebidas da Terra (do Centro de Controle do satélite) ou que serão enviados para ele. Utiliza computadores de bordo e uma rede interna de comunicação de dados.
5. **Estrutura e mecanismos:** este subsistema tem por objetivos fornecer o suporte mecânico e movimentar as partes do satélite, bem como oferecer proteção contra as vibrações de lançamento e contra a radiação em órbita. É constituído por estruturas metálicas e de materiais compostos, como fibra de carbono. Os mecanismos presentes normalmente têm a função de abrir e girar painéis solares, separar o satélite do lançador, apontar antenas, entre outros.

6. **Controle térmico:** este tem por objetivo manter os equipamentos dentro de suas faixas nominais de temperatura. Utiliza aquecedores, isoladores, pinturas e radiadores.
7. **Propulsão:** tem por objetivo fornecer o empuxo necessário para o controle da atitude e da órbita do satélite. Utiliza tanques de combustível, bocais, bombas, tubulações e válvulas.

A carga-útil dos satélites é constituída por um ou mais equipamentos, tais como sensores, transmissores, antenas. São eles que cumprem as missões para as quais os satélites são projetados.

Por falar em missões, elas são normalmente classificadas em três categorias: científicas, operacionais e tecnológicas. As científicas são normalmente representadas por missões de astronomia e astrofísica, geofísica espacial, planetologia, ciências da Terra, atmosfera e clima.

As classificadas como operacionais são as de observação da Terra, coleta de dados, comunicações, meteorologia, navegação, alarme, busca e localização e de uso militar.

Finalmente, encontram-se as missões tecnológicas, que são as de aplicação da microgravidade, teste de novos equipamentos e de inovações tecnológicas.

O desenvolvimento e a utilização de um satélite seguem um processo rigoroso e detalhado, o qual é normalmente dividido em fases. Estas fases constituem o que se convencionou chamar de "ciclo de vida" do satélite. Como qualquer outro equipamento construído e utilizado por nós, este também apresenta fases de desenvolvimento, utilização e descarte. Vamos a elas:

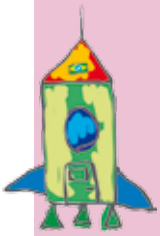
1. **Fase de especificação**: estabelece como o satélite deve ser e o que deve fazer.
2. **Fase de projeto preliminar:** é criada uma concepção inicial para atender às especificações.
3. **Fase de projeto detalhado:** é elaborado com base no projeto preliminar.

4. **Fase de fabricação:** as partes que constituem o satélite são fabricadas.
5. **Fase de montagem:** ao final desta fase o satélite está na forma, "configuração" – no jargão do setor, como será lançado.
6. **Fase de testes:** dentre todas as demais, esta é uma das mais críticas. É nela em que é verificado se o satélite funciona corretamente e se resiste ao ambiente espacial. Para entender sua importância, basta dizer que, dos milhares de equipamentos já lançados pelo homem, apenas dois satélites e mais as estações espaciais tripuladas têm ou tiveram a oportunidade de receber algum tipo de manutenção em órbita. Todos os outros foram entregues à própria sorte após seu lançamento, o que significa dizer que todo o investimento feito seria perdido se eles não funcionassem corretamente. Daí a importância dos testes.
7. **Fase do lançamento:** quando ele é posto em órbita por um foguete.
8. **Fase de utilização:** geralmente é a fase mais longa, por ser aquela em que o satélite realiza o serviço para o qual foi projetado. Dependendo da missão, a duração desta fase poderá variar de uns poucos meses a anos, ou mesmo décadas. A título de exemplo, os satélites de telecomunicações mais recentes são projetados para ao menos 15 anos de vida útil em órbita.
9. **Fase de descarte:** quando ele é removido de sua órbita e substituído. Esta fase no passado não era considerada muito relevante. Atualmente, em virtude dos problemas causados pelo lixo espacial, não é mais aceitável que satélites que já cumpriram sua missão permaneçam em órbitas de interesse científico e econômico, podendo com isso causar danos a satélites ainda em operação, ou a naves tripuladas.

No caso dos satélites nacionais, organizações governamentais e privadas atuam simultaneamente em uma ou mais das fases acima. Normalmente, a fase 1 é desenvolvida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), órgão do Ministério da Ciência

e Tecnologia (MCT) localizado em São José dos Campos, São Paulo.

Para mais informações, acesse o conteúdo do CD "Satélites e seus Subsistemas", que integra o encarte deste volume.



As fases 2, 3 e 4 são normalmente desenvolvidas por empresas contratadas pelo Inpe.

As fases 5 e 6 são desenvolvidas no Laboratório de Integração e Testes (LIT), que pertence ao Inpe. O LIT é um complexo laboratorial único na América Latina, resultado de grandes investimentos governamentais, e que atende tanto ao Programa Espacial Brasileiro, quanto a uma crescente demanda industrial para testes e certificação de equipamentos, particularmente nas áreas de comunicações e automotiva.

A fase 7 é executada pela organização responsável pelo lançamento (nacional ou estrangeira), juntamente com funcionários do Inpe e das empresas por ele contratadas. A fase 8 fica sob a responsabilidade do Inpe. No Brasil ainda não tivemos a oportunidade de ativar uma fase 9.



Inpe. http://www.cbers.inpe.br/

Figura 5.25. Cbers em fase de integração e testes no LIT.

OS SATÉLITES DE COLETA DE DADOS (SCD)

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Embora as atividades espaciais brasileiras tenham tido início na década de 60, foi com o advento da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) que o País passou a ter um plano mais consistente de desenvolvimento para a área. A MECB começou oficialmente em 1980, e previa, entre outros projetos, que seriam produzidos e lançados dois satélites de coleta de dados ambientais denominados Satélite de Coleta de Dados (SCD). Esta meta foi alcançada, tendo sido colocados em órbita os satélites SCD-1 e SCD-2, lançados respectivamente em 1993 e 1998.

O SCD-1 é um satélite de pequeno porte que opera em uma órbita de 760 km de altitude. A Figura 5.26 apresenta sua forma octogonal característica.

Trata-se de um satélite de dimensões reduzidas (1 m de diâmetro, 1,45 m altura), 115 kg e potência de 110 Watts fornecida por células solares (também chamadas de fotovoltaicas) que o revestem. Sua estabilidade é mantida por rotação, como um pião colocado no espaço, e sua órbita é circular, com uma inclinação de 25 graus em relação à Linha do Equador.



Inpe. http://www.cbers.inpe.br/

Figura 5.26. SCD-1.

Os satélites da série SCDs fazem parte da Missão de Coleta de Dados, que visa fornecer ao País um sistema de coleta de dados ambientais baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs), distribuídas pelo território nacional. As PCDs são pequenas estações

automáticas instaladas, geralmente, em locais remotos. Desde o início do programa, o número de PCDs instaladas tem aumentado continuamente, já havendo centenas em operação. Sua fonte de energia são pequenos painéis solares.

Os dados adquiridos pelas PCDs são enviados aos satélites que os retransmitem para as estações receptoras do Inpe em Cuiabá (Mato Grosso) e Alcântara (Maranhão). A partir daí os dados são enviados para a cidade de Cachoeira Paulista (SP), onde é feito o seu tratamento, para distribuição imediata aos usuários do sistema. Os usuários cadastrados recebem os arquivos com os dados já processados utilizando a Internet.

O Inpe atende a aproximadamente cem organizações usuárias. Os dados coletados são classificados como de interesse meteorológico, hidrometeorológico e agrometeorológico. Os dados típicos fornecidos aos usuários do sistema são medidas da pressão atmosférica, das temperaturas do ar e do solo, da velocidade e direção do vento, da umidade relativa do ar, dos níveis de rios e reservatórios, da intensidade da radiação solar etc. A Figura 5.27 mostra um exemplo das Plataformas de Coleta de Dados utilizadas.



Inpe. http://www.inpe.br/

Figura 5.27. Plataforma de Coleta de Dados.

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

OS SATÉLITES SINO-BRASILEIROS DE RECURSOS TERRESTRES (CBERS)

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

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

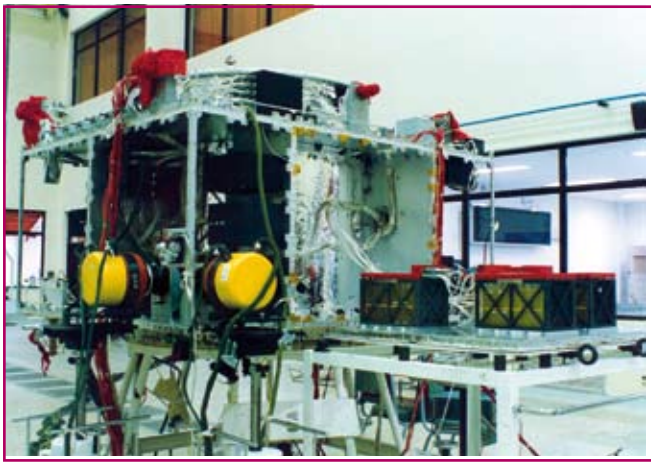
Para compreender a complexa relação entre os diversos fenômenos ambientais nas mais variadas escalas temporais e espaciais, a observação da Terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva de coletar os dados necessários para monitorar e modelar os fenômenos ambientais, particularmente no caso de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

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

Cientes desses fatos, na década de 1980, China e Brasil iniciaram um processo de aproximação com o objetivo de buscar alternativas de cooperação em atividades espaciais, particularmente na exploração das técnicas de observação da Terra. As duas nações

perceberam o quão estratégica essa cooperação seria para ambas por disporem de vastos territórios carentes de observação com sensores adequados; por serem total ou parcialmente dependentes de satélites estrangeiros para a obtenção das imagens de que necessitavam; por terem população distribuída de forma irregular, e por compartilharem objetivos estratégicos semelhantes nas áreas de ciência e tecnologia.

Assim, em 6 de julho de 1988, durante o governo do Presidente José Sarney, um programa de cooperação para desenvolver um par de satélites de observação da Terra foi assinado pelos governos do Brasil e da República Popular da China, sendo então criado o Programa Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (Cbers) [China-Brazil Earth Resources Satellite]. Na China, a implementação do Programa Cbers ficou sob a responsabilidade da Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (Cast) e, no Brasil, ficou a cargo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).



Características do Cbers:

- Massa total: 1.450 kg
- Potência: 1.100 W
- Dimensões do corpo: 1,8 × 2,0 × 2,2 m
- Dimensões do painel solar: 6,3 × 2,6 m
- Órbita: hélio-síncrona, circular e polar a 778 km
- Vida útil: 3 anos

Inpe. http://www.cbers.inpe.br/

Figura 5.28. Cbers.

Esse acordo de cooperação foi concebido de forma diversa das modalidades usuais de cooperação ou assistência técnica existentes entre nações, seja por meio do intercâmbio de pesquisadores, seja pela venda de equipamentos. Neste caso, o objetivo era o de buscar de forma desimpedida o desenvolvimento conjunto

de um sistema sofisticado de observação da Terra por meio de satélites, no qual cada uma das nações se beneficiaria das vantagens competitivas da outra.

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

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

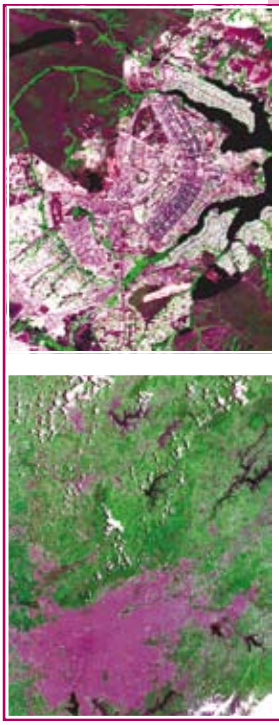
Para tanto, foi concebido um sistema com cobertura global realizada com diversas câmeras ópticas, complementadas por um sistema de coleta de dados ambientais.

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

As atividades tiveram início em 1988 e culminaram com o lançamento do primeiro modelo (Cbers-1) em 14 de outubro de 1999 e, do segundo, em 21 de outubro de 2003, utilizando-se o foguete chi-

nês Longa Marcha 4B, a partir da Base de Lançamento de Taiyuan, situada na província de Shanxi, a cerca de 750 km sudoeste de Pequim. Em virtude do sucesso obtido no desenvolvimento dos dois satélites, Brasil e China iniciaram discussões objetivando especificar, desenvolver, fabricar, lançar e operar uma nova geração de satélites da família Cbers (Cbers-3 e Cbers-4), dotados de maiores avanços em seus sensores e cabendo responsabilidades iguais a cada um dos dois parceiros (50% para cada parte).

O programa de desenvolvimento dos satélites da série Cbers, além de significar um marco na busca de autonomia tecnológica nacional, também vem tendo um papel importante no estabelecimento de uma política nacional para a geração e disseminação de imagens de satélite.



Brasília – DF
Sensor: CCD/Cbers-2
Órbita_Ponto: 157_118
Composição: R3G4B2
Data: 18/07/2004

São Paulo – SP
Sensor: CCD/Cbers-2
Órbita_Ponto: 154_126
Composição: R3G4B2
Data: 30/12/2004

Inpe. http://www.cbers.inpe.br/

Figura 5.29A e B. Imagens coletadas pelo Cbers.

Nesse caso, o Inpe implantou em junho de 2004 uma política de distribuição gratuita das imagens do território nacional. Com ela, o Brasil tornou-se um dos maiores distribuidores de imagens de satélite no mundo, tendo sido atingida a marca média de 2.100 imagens distribuídas por semana, mais de cem mil por ano.

ALÉM DOS SATÉLITES

Petrônio Noronha de Souza (Inpe) e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).

Por meio dos satélites, é possível realizar missões de observação da Terra e do Universo. No entanto, o satélite é um dos elos de uma corrente maior, que inclui:

- **Sistemas de solo:** responsáveis pelo controle dos satélites e pela recepção, processamento, armazenamento e distribuição de dados espaciais. Neste item encontram-se: Plataformas de Coleta de Dados (PCD), antenas de transmissão e recepção de dados dos satélites e os supercomputadores, necessários ao armazenamento e processamento de dados.
- **Análise e modelagem:** requer profissionais altamente qualificados para trabalharem na modelagem físico-matemática dos fenômenos objeto de observação pelos satélites. Em outras palavras, é preciso ter conhecimento em várias áreas do saber para obter e interpretar os dados obtidos de observações espaciais.
- **Transferência do conhecimento e informações à sociedade:** o conhecimento gerado com as atividades espaciais deve ser usufruído pela sociedade que o financiou. É o caso das previsões de tempo fornecidas pelo Cptec/Inpe e disponibilizadas gratuitamente a todos os cidadãos. O mesmo ocorre com o monitoramento do desmatamento em nosso país, cujos dados são também gratuitamente disponibilizados à sociedade por meio dos programas Deter e Prodes, ambos do Inpe.
- **Lançadores e bases de lançamento:** para que os satélites sejam colocados em órbita da Terra a 28.000 km/h, é necessário

o desenvolvimento de potentes foguetes, no topo dos quais os satélites são transportados ao espaço. Para lançá-los ao espaço, é necessária uma infra-estrutura em terra, conhecida como base de lançamento. Além de suporte ao pessoal envolvido com o lançamento, uma base de lançamento é composta por radares, estações meteorológicas, oficinas e equipamentos.

- **Usuários:** a comunidade formada por universidades, instituições de pesquisas, órgãos governamentais, empresas, escolas e o público em geral, que recebem os dados espaciais e os utilizam em atividades de natureza pública e privada.

O SENSORIAMENTO REMOTO E SUAS APLICAÇÕES

Angélica Di Maio (IG/UFF).

A obtenção de informações a partir de dados de sensoriamento remoto baseia-se no estudo das interações entre a energia eletromagnética (normalmente a luz visível) e os alvos da superfície terrestre (vegetação, oceanos, solo, cidades etc.). As características particulares de como cada alvo absorve, reflete ou emite a luz ao longo dos diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas definem as faixas espectrais mais adequadas à obtenção de informações sobre determinado objeto.

Os sensores, a bordo de satélites ou de aeronaves, são dispositivos capazes de detectar e registrar essa radiação eletromagnética em uma ampla faixa espectral. Enquanto nós observamos a natureza com dois olhos (fantásticos, por sinal) que decifram o ambiente na faixa da luz visível, os sensores são construídos para observar cenas da superfície terrestre com mais de dois olhos, ou seja, há sensores que captam dados do planeta a partir de, por exemplo, sete faixas espectrais diferentes (há sensores que conseguem mais que sete, outros menos). Estes sensores observam, portanto, o planeta com visões além do visível.

A observação da Terra por meio de sensores remotos é uma forma eficaz e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, especialmente em países de grande extensão territorial, como o Brasil.

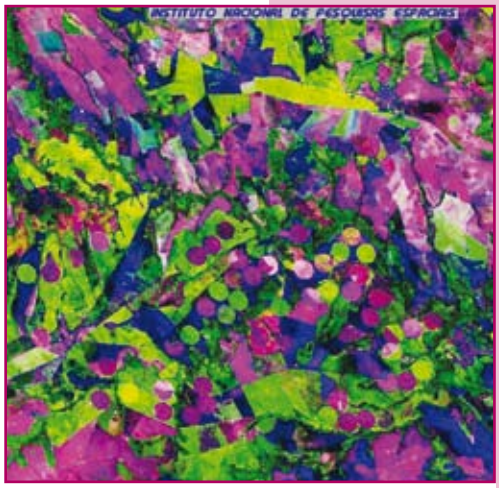
Como um país de dimensões continentais, o Brasil enfrenta desafios relativos à ocupação, uso e manejo do seu imenso e diversificado espaço de 8.514.215,3 km^2, com uma população de cerca

de 180.000.000 de habitantes. Neste caso, vale ressaltar que o uso do sensoriamento remoto reduz o custo dos levantamentos de campo, sendo que o custo das imagens produzidas por satélites é inferior às produzidas utilizando aviões.

As atividades agrossilvopastoris, por exemplo, são responsáveis por mais de 90% da ocupação das terras. São praticadas diversas culturas, desde a escala da subsistência, passando pelas pequenas e médias organizações rurais, até as grandes empresas agroindustriais. No Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (CNPM), conhecido como "Embrapa Monitoramento por Satélite", a pesquisa agropecuária brasileira emprega modernos e sofisticados instrumentos para garantir o conhecimento do uso do solo no Brasil.

As queimadas em nosso país têm sido objeto de muita preocupação. Elas atingem os mais diversos sistemas ecológicos e tipos de agricultura, gerando impactos ambientais em escala local e regional. Conjugando sensoriamento remoto, cartografia digital e comunicação eletrônica, é realizado, desde 1991, um monitoramento efetivo das queimadas em todo o Brasil.

No contexto local, as queimadas destroem a fauna e a flora, empobrecem o solo, reduzem a penetração de água no subsolo e, em muitos casos, causam mortes, acidentes e perda de propriedades. No âmbito regional, causam poluição atmosférica com prejuízos à saúde de milhões de pessoas e à aviação e transportes; elas também alteram, ou mesmo destroem, ecossistemas. Do ponto de vista global, as queimadas são associadas a modificações da composição química da atmosfera e mesmo do clima do planeta.

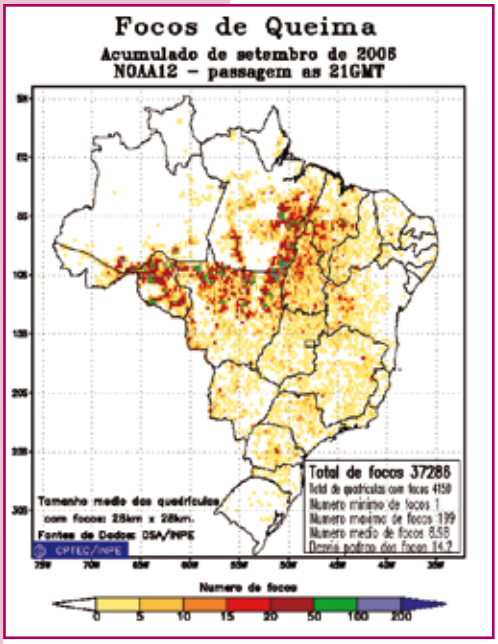


Inpe. http://www.dgi.inpe.br/

Figura 5.30. Imagem da plantação tomada por satélite.
Data de aquisição da imagem: 18/Janeiro/1991.
Composição colorida: bandas 3/4/5(BGR).
Satélite: Landsat-5 TM.
Mostra uma área de plantação de soja, que pode ser identificada por sua estrutura circular. A cor violeta representa o solo preparado para o cultivo, a cor verde representa cultivos irrigados em fase adulta e a cor rosa representa áreas de pastagens.

No Brasil, a quase totalidade das queimadas é causada pelo ser humano (limpeza de pastos, preparo de plantios, desmatamentos, colheita manual de cana-de-açúcar, vandalismo, balões de São João, disputas fundiárias, dentre outros.).

Como parte do esforço de monitorar e minimizar o fenômeno das queimadas, uma equipe do Inpe que trabalha no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (Cptec) vem desenvolvendo e aprimorando, desde a década de 1980, um sistema de detecção de queimadas. Atualmente, os dados são obtidos a partir de imagens termais (que indicam fontes de calor) dos satélites meteorológicos da Noaa, dos satélites americanos Terra e Aqua e da série Goes.



Cptec/Inpe. www.cptec.inpe.br/

Figura 5.31. Focos de queimadas.

Como sabemos, os recursos naturais e o meio ambiente da Terra estão em mudança contínua em resposta à evolução natural e às atividades humanas. Assim, uma das vantagens do sensoriamento remoto por satélite é que as informações podem ser atualizadas com freqüência devido à característica de repetitividade de aquisição das imagens e ainda a existência de dezenas de programas espaciais voltados à obtenção de dados para estudos de ambientes continentais, aquáticos e atmosféricos (neste caso, com o uso de satélites meteorológicos).

Um outro exemplo de aplicações é o monitoramento de animais via satélite, que tem revelado importantes dados sobre alguns animais de hábitos livres, como as tartarugas, lobos-guará, onças etc. Um bom exemplo vem de pesquisa do Instituto Mamirauá, do Ministério da Ciência e Tecnologia, no Amazonas. Com a ajuda do Inpe, oito peixes-boi monitorados por telemetria vêm fornecendo dados valiosos sobre hábitos da espécie

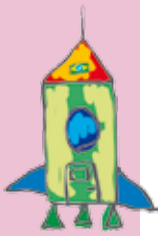
– como a migração de até 150 km em busca de alimentos entre as áreas de terra firme e planície, conforme os períodos das cheias e vazantes.

Uma outra atividade importante que também utiliza o sensoriamento remoto é o uso dos dados orbitais para potencializar o aumento da captura de peixes de interesse, a partir da localização de áreas que apresentam indicações oceanográficas favoráveis à presença dos cardumes. Neste caso, podem-se considerar simultaneamente as características biológicas da espécie e a importância da manutenção dos estoques pesqueiros.

No Brasil, a utilização de dados de satélite aplicados à pesca teve início no final da década de 70, quando foram utilizadas imagens do satélite americano Noaa-5 no auxílio à determinação de zonas propícias à pesca da sardinha. Existe, para cada espécie de peixe, uma faixa de temperatura considerada ótima para seu metabolismo. As sardinhas, por exemplo, adaptam-se melhor às águas mais frias, com temperatura inferior a 23 ºC.

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

Leandro Toss Hoffmann (Inpe), Danton José Fortes Villas Bôas (IAE/CTA) e José Bezerra Pessoa Filho (IAE/CTA).



Os satélites usam as estrelas para se orientar no espaço.

Desde os nossos primeiros deslocamentos sobre a superfície terrestre descobrimos a importância de conhecer, com precisão, a nossa posição. As estrelas se mostraram bastante úteis nessa tarefa. A bússola, inventada pelos chineses, e o **astrolábio**, invenção grega, representaram grandes avanços nas técnicas de navegação. Em um estágio subseqüente, foi desenvolvido o **sextante**. No entanto, por se basearem na posição dos astros no firmamento, tanto o astrolábio quanto o sextante nos deixam às escuras em uma noite nublada. No século passado foram desenvolvidos sistemas de navegação mais precisos, como o Decca, proveniente da Inglaterra e largamente utilizado por navios e aviões durante a II Guerra Mundial. A precisão desse sistema variava de alguns metros a um quilômetro, mas ainda muito longe da revolução que estava por vir.



Astrolábio: instrumento astronômico para medir a elevação dos astros acima do horizonte.

Sextante: instrumento astronômico usado para medir distâncias angulares ou elevações de corpos celestes.

Resultado de desenvolvimentos nos campos da física, matemática, eletrônica, computação e ciências espaciais, o GPS representa uma revolução sem precedentes no campo da navegação. Como a Internet, foi concebido pelo Departamento de Defesa dos EUA, na época da Guerra Fria. Do mesmo modo, tornou-se coqueluche mundial, estando presente na vida de milhões de pessoas.

O GPS é também conhecido como projeto Navstar, que se tornou operacional em abril de 1995 e nasceu com objetivos

iminentemente militares. Com o tempo, essa tecnologia militar foi gradativamente liberada para o uso civil, acabando por se tornar uma indústria bilionária. Além dos EUA, a Rússia possui o seu sistema próprio (Glonass), enquanto europeus, indianos, japoneses e chineses trabalham nessa direção.



Leandro Toss Hoffmann

Figura 5.32. Constelação de satélites GPS.

O sistema é baseado em uma constelação de pelo menos 24 satélites, que navegam em seis diferentes órbitas, nas quais orbitam quatro satélites cada, distantes cerca de 20.000 km da superfície terrestre, Figura 5.32. Cada satélite leva doze horas para completar sua órbita. Tal arranjo visa permitir que, em qualquer lugar da superfície terrestre, um receptor GPS possa receber, a qualquer tempo, sinais de vários satélites. Além disso, existem satélites sobressalentes. Atualmente, a constelação GPS conta com mais de 30 satélites. É baseado nas informações recebidas desses satélites que um receptor GPS fornece a latitude, longitude, altitude, velocidade e tempo.

O sistema opera 24 horas do dia, sob quaisquer condições climáticas, e o usuário não paga um único centavo pelo seu uso. Tudo que o interessado necessita é do próprio receptor, cujo preço mínimo em 2009 está na faixa de R$ 500,00. Além disso, diversos novos modelos de telefones celulares começam a trazer GPS embutidos, e assim pode-se prever a proliferação do uso do GPS nos próximos anos.

Alguns fabricantes disponibilizam receptores com mapas detalhados de diversas regiões do globo, com indicação de ruas, pontos turísticos, lojas, restaurantes, topografia, dentre outros. Outros trazem um sistema de voz, em várias línguas, que, passo a passo, narra o caminho a ser percorrido pelo usuário.

É importante frisar que os receptores GPS não funcionam sob mares, rios, lagos e oceanos, além do que sofrem interferência



National Executive Committee for Space-Based PNT

Figura 5.33. Lançamento de um satélite GPS.

da vegetação e construções no seu entorno. Adicionalmente, vale ressaltar que o receptor GPS deve ser um dos componentes do sistema de navegação, jamais o único. Portanto, não se deve ter a pretensão de caminhar numa floresta densa e desconhecida somente pelo fato de portar um aparelho GPS. O mesmo se aplica à navegação marítima. Em situações como estas, é recomendável que o usuário disponha de bússola, sextante, mapas em papel, além do que possua conhecimentos básicos de navegação e do uso dessas ferramentas.

Similarmente a outras aplicações da área espacial, os satélites GPS não são auto-suficientes. Eles precisam de um suporte em terra capaz de monitorar e controlar, ininterruptamente, cada um dos satélites integrantes do sistema. Além disso, para assegurar a operacionalidade do sistema, novos satélites são lançados ao espaço em substituição àqueles cuja vida útil aproxima-se do final. A Figura 5.33 mostra o lançamento do foguete americano da série Delta, lançando o sexto satélite da série IIR-M, Figura 5.34, em março de 2008.



National Executive Committee for Space-Based PNT

Figura 5.34. Ilustração do satélite IIR-M.

Aplicações

Para o público leigo, a estréia do GPS ocorreu na Guerra do Golfo (1990-1991), quando o sistema foi utilizado como navegação dos mísseis americanos disparados contra o Iraque. Dessa forma, os mísseis acertavam os seus alvos com precisão quase cirúrgica.

A aviação comercial e militar faz uso intensivo do GPS para navegação e aproximação de aeroportos. O mesmo é aplicável à navegação marítima e terrestre. As locadoras de automóveis usam GPS em sua frota, com o intuito de auxiliar motoristas a se deslocarem em cidades desconhecidas. Por meio de mapas, o receptor GPS fornece na tela o traçado a seguir e, em caso de erro ou desatenção do motorista, automaticamente, calcula uma nova rota para o destino desejado. Transportadoras usam o sistema para saber, a cada instante, onde se encontram os veículos da sua frota. Em geral, esses veículos possuem estampados em sua carroceria a frase "Veículo rastreado por satélite". Nestes casos, a informação processada pelo receptor GPS, presente em cada veículo, é transmitida a uma central, que faz o monitoramento. Em caso de paradas ou rotas não programadas, a central dispara uma série de procedimentos para saber se o veículo foi objeto de roubo.

Se você já visitou uma cidade turística, no Brasil ou no exterior, deve ter andado em um daqueles ônibus de dois andares que fazem um roteiro pré-estabelecido passando defronte dos vários pontos turísticos daquela localidade. Ao se aproximar de cada ponto turístico, o sistema de som do ônibus automaticamente entra em funcionamento, anunciando, por meio de uma gravação, o ponto turístico e a sua história. O GPS também tem sido utilizado para definir, com precisão, os limites de propriedades urbanas e rurais.

Muitos satélites têm suas órbitas acompanhadas via GPS. Foguetes de sondagem também fazem uso do GPS, não somente para ajudar no rastreio e localização das partes descartadas, como também da carga-útil, auxiliando na sua recuperação.

Por usar relógios atômicos de grande precisão, os satélites GPS são de grande utilidade para empresas que precisam de rigor na marcação do tempo. Tal se aplica a bancos de investimentos e empresas de telefonia, que necessitam registrar o exato instante das suas operações.

Saiba mais...

Recreação

Os entusiastas em navegação criaram uma atividade diferente de jogo baseada no GPS: o *geocaching*. Nesse tipo de recreação, que lembra muito uma caça ao tesouro, pessoas do mundo inteiro escondem um diário e pequenos objetos em locais ao ar livre e publicam suas coordenadas na Internet. Posteriormente, alguém equipado com um receptor GPS lê essas informações na Internet e tenta encontrar os objetos (http://www.brasilcaching.com.br/).

Outra atividade, com objetivo semelhante, prevê que o navegante GPS encontre pontos de intersecção de coordenadas geográficas cujas latitudes e longitudes sejam valores inteiros em graus. Ao encontrar, o visitante deve tirar fotos do receptor GPS e da região e submetê-las ao sítio do projeto na Internet (http://www.confluence.org/), conforme ilustrado na imagem ao lado, que mostra o ponto de 29^0 de latitude Sul e 50^0 de longitude Oeste.



Leandro Toss Hoffmann

Figura 5.35. Tela de um receptor GPS.

Princípio de funcionamento do GPS

Latitude e longitude

No sistema de coordenadas geográficas, qualquer ponto na superfície da Terra é definido por um par de medidas angulares,

conhecidas como latitude e longitude, Figura 5.36. A latitude mede a posição em graus em relação ao Equador, de 0º a 90º, no sentido norte ou sul. A longitude, por sua vez, mede o ângulo de 0º a 180º no sentido leste ou oeste, em relação a um meridiano de referência, conhecido como meridiano de Greenwich.



Amery Neto

Figura 5.36. Sistema de coordenadas geográficas.

O funcionamento do GPS

Enquanto orbitam a Terra, os satélites da constelação GPS enviam constantemente informações aos usuários, por meio de ondas de rádio (ondas eletromagnéticas). Para melhor compreender as facilidades oferecidas, imagine-se portando um receptor GPS. Ao ligá-lo, este vai indicar na tela os satélites visíveis ao receptor, Figura 5.37A. As barras verticais indicam a intensidade do sinal recebido de cada satélite. Além dessas informações, o receptor indica a latitude e longitude (canto superior direito) e a precisão da estimativa de localização calculada.

O receptor GPS fornece, ainda, várias outras informações. A Figura 5.37B, por exemplo, mostra o roteiro programado por alguém que deseja ir de São José dos Campos a Santos. Ao longo do seu trajeto, o receptor GPS fornecerá ao usuário informações de direção, Figura 5.37C, bem como da distância percorrida, do tempo de viagem, do horário estimado de chegada e da velocidade média desenvolvida ao longo do percurso, 5.37D.



Danton José Fortes Villas Bôas

Figura 5.37A, B, C e D. Informações oferecidas pelo GPS.

As principais informações enviadas pelos satélites ao receptor GPS são: a identificação do satélite; a posição atual do satélite; e o horário em que a informação foi enviada.

Para descobrir quanto tempo o sinal emitido pelo satélite levou para chegar ao receptor, este subtrai a hora em que o sinal foi recebido da hora em que ele foi emitido pelo satélite. Outra informação necessária é a velocidade de propagação do sinal entre o satélite e o receptor. Neste caso, considera-se a velocidade da luz no vácuo, ou seja, 300.000 km/s. Com a informação de tempo e velocidade, o receptor calcula a distância entre ele e o satélite, da seguinte forma:

$$PD = c \times t,$$

onde "PD" representa a pseudo-distância em quilômetros, "c" a velocidade da luz no vácuo e "t" o tempo, em segundos. O uso do termo pseudo-distância decorre de erros na estimativa do tempo. Dentre as possíveis fontes de erro, vale destacar: interferência da atmosfera na velocidade de propagação do sinal; interferência de árvores e edificações, que podem fazer com que o caminho percorrido do satélite ao receptor não seja exatamente uma linha reta; e a precisão do relógio que equipa os receptores GPS. Pequenas alterações nas órbitas dos satélites também são responsáveis por imprecisão. Apesar disso, mesmo os aparelhos mais baratos conseguem fornecer uma precisão na ordem de dez metros, que já é o suficiente, para a grande maioria das aplicações cotidianas.

Trilateração em duas dimensões

O princípio da trilateração é baseado em uma geometria bastante simples. Para entendê-la, imagine-se um turista em algum ponto do estado de São Paulo. Na tentativa de se localizar, você é informado estar a 244 km, em linha reta, da cidade de São Carlos. Baseado nesta informação e no seu conhecimento de geometria, você conclui que pode estar sobre qualquer ponto sobre a circunferência vermelha da Figura 5.38. Trata-se, obviamente, de uma informação insuficiente para sua localização.

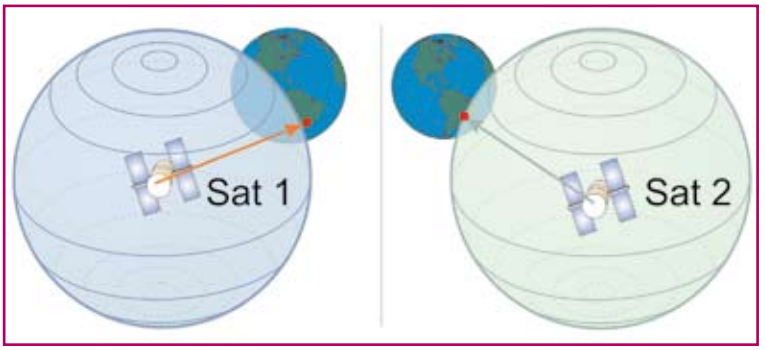


Amery Neto

Figura 5.38. Princípio da trilateração em duas dimensões.

Na tentativa de lhe ajudar, uma outra pessoa informa que você está distante 122 km da cidade de Campinas, do que resulta uma circunferência de 122 km de raio, centrada na cidade de Campinas, e representada em azul na Figura 5.38. Olhando num mapa, você conclui que pode estar próximo tanto na cidade de São José dos Campos, quanto de Santos, ou seja, você continua sem saber sua localização exata.

Recordando a geometria que você aprendeu na escola, você conclui que com mais uma informação você será capaz de estabelecer a sua localização. De fato, com base na informação de que a sua distância à cidade de São Paulo é de 82 km, você conclui estar sobre a interseção das três circunferências, ou seja, na cidade de São José dos Campos, SP. Esse procedimento é similar ao utilizado pelo receptor GPS para determinar sua posição.



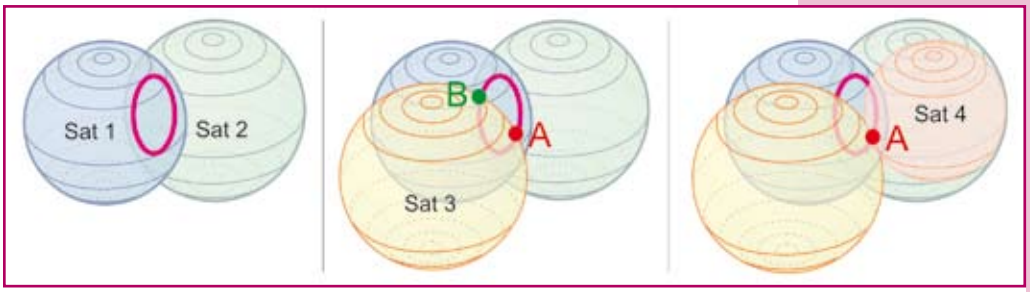
Amery Neto

Figura 5.39A e B. Localização via GPS.

Trilateração em três dimensões

Considere-se na mesma situação anterior, mas agora você porta um receptor GPS. Um dos satélites captados pelo seu receptor (Sat 1) indica que você está a 21.000 km dele. Sob o ponto de vista desse satélite, você poderia estar localizado em qualquer ponto da superfície de uma esfera imaginária de 21.000 km de raio, centrada em Sat 1, Figura 5.39A. De modo similar, um segundo satélite, Sat 2, indica uma distância de 22.000 km, o que, em tese, coloca você sobre qualquer ponto da superfície esférica ilustrada na Figura 5.39B. De modo similar àquele envolvendo a trilateração em duas dimensões (Figura 5.38), você está localizado na interseção entre as superfícies esféricas imaginárias centradas em Sat 1 e Sat 2. Geometricamente, essa região é uma circunferência, ilustrada na Figura 5.40A. Quaisquer dos pontos sobre a circunferência da Figura 5.40A distam 21.000 km de Sat 1 e 22.000 km de Sat 2. A leitura obtida de Sat 3 indica 23.000 km

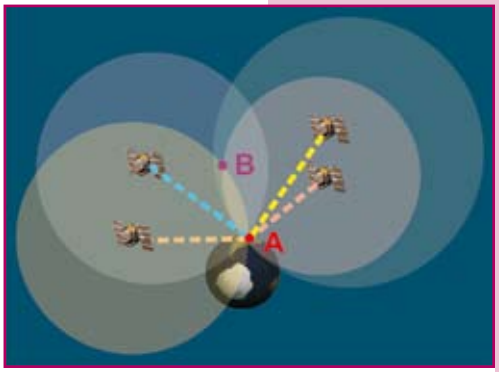
de distância entre o receptor e o satélite. Portanto, sob o ponto de vista de Sat 3, você poderia estar localizado em qualquer ponto da superfície esférica representada na cor amarela, Figura 5.40B. No entanto, somente os pontos A e B da Figura 5.40B, pertencem às superfícies esféricas centradas em Sat 1, Sat 2 e Sat 3.



Amery Neto

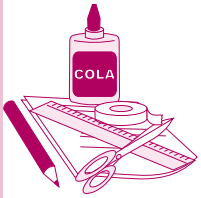
Figura 5.40A, B e C. Trilateração em três dimensões.

Se o receptor GPS considerar que você está ao nível do mar, ele concluirá em qual dos pontos, A ou B, você se encontra, uma vez que somente um deles estará sobre a superfície terrestre. No entanto, você poderia estar escalando o Everest ou voando 12 km acima da superfície da Terra. O receptor poderia, ainda, estar a bordo de um foguete. Portanto, é necessária a obtenção de informação de um quarto satélite, Sat 4, que estabelece em qual dos pontos, A ou B, você se encontra, Figura 5.40C. Assumindo que não haja fontes de erro na obtenção dos raios das esferas (pseudo-distâncias), o receptor estará localizado no ponto exato onde as quatro esferas se interceptam (Figura 5.41). Observe que a tecnologia espacial foi usada somente para estimar o raio das esferas. Todo o resto fundamenta-se nos conhecimentos seculares de geometria.



Amery Neto

Figura 5.41. Uso de quatro satélites GPS para obtenção da localização.



ATIVIDADES

COMO GIRAR UM SATÉLITE

Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Apresentação

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

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

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

Esta atividade demonstra, de modo simplificado, como acontece o movimento rotacional de um satélite artificial. Neste experimento, no lugar dos gases utilizados pelos satélites verdadeiros, será utilizada a água impulsionada pela gravidade.

Objetivo

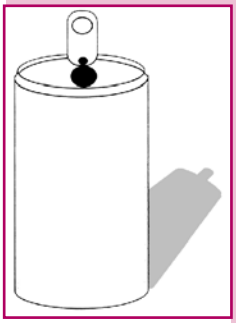
Demonstrar o princípio da ação e reação (Terceira Lei do Movimento de Newton) envolvido na rotação em um satélite no espaço.

Sugestão de problematização

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

Materiais

- Latas de alumínio de refrigerante vazias, ainda com o anel de abertura (no mínimo três para cada grupo de três ou quatro alunos) – Figura 5.42
- Linha de pesca fina
- 1 tesoura
- 3 pregos de diferentes diâmetros (designados pequeno, médio e grande)
- 1 balde com água
- Fita crepe
- 1 caneta vermelha

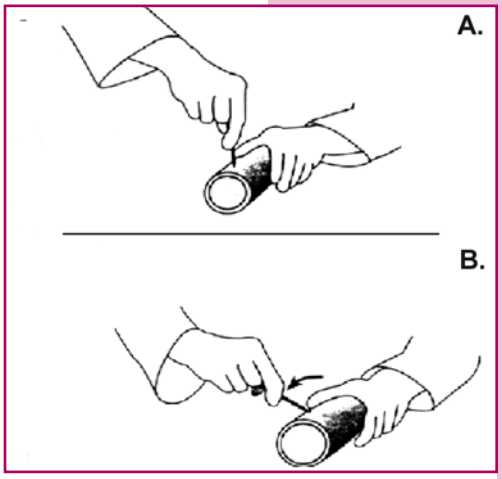


Nasa. www.nasa.gov/

Figura 5.42. Lata de alumínio de refrigerante.

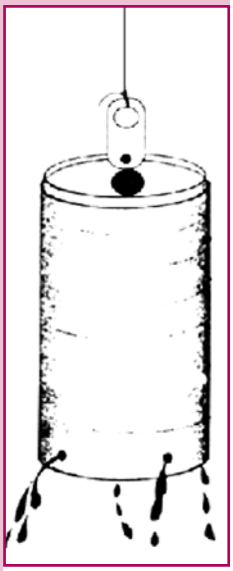
Procedimentos

1. Faça um furo próximo da base da lata (Figura 5.43A).
2. Ainda com o prego no furo, girar a sua parte superior para o lado para torcer o furo (Figura 5.43B).
3. Fazer outros três furos idênticos a aproximadamente 90 graus um do outro. Torcer os furos sempre na mesma direção.
4. Amarrar meio metro de linha de pesca ao anel de abertura da lata.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 5.43A e B. Procedimento para fazer os furos na lata.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 5.44. Ilustração do experimento sendo realizado.

5. Colar um pedaço da fita crepe na lateral da lata e pintá-lo com tinta vermelha.
6. Mergulhar a lata no balde de água até que ela fique cheia.
7. Suspender a lata pela linha acima da superfície da água do balde.
8. A lata será acelerada pela água que vaza pelos furos. Esta aceleração demonstra o princípio da ação e reação. (Figura 5.44).

   O resultado esperado deverá ser o movimento rotacional da lata de refrigerante, o qual é análogo ao movimento rotacional de um satélite artificial em órbita. A ação da gravidade sobre a água que está dentro da lata produz uma pressão que é máxima no fundo dela. Esta pressão provoca a saída da água, que esguicha pelos furos. A esta ação corresponde uma reação, que é uma força contrária aplicada na borda da lata por cada esguicho. Cada uma destas forças gera um torque em relação ao eixo de rotação da lata. Estes vários torques, atuando sempre no mesmo sentido, aceleram a lata em rotação. A faixa vermelha ajuda a contar o número de voltas dadas pela lata até o momento em que a água se esgota.
9. Em uma segunda etapa, os alunos podem perfurar outras latas, variando o número de furos e o diâmetro dos pregos. Em seguida devem fazer medidas comparativas da aceleração resultante por meio da contagem das voltas.
10. Este experimento também poderá servir para introduzir aspectos da metodologia científica para os alunos. Para tanto, devem ser seguidos os seguintes passos:

    a. Criar um universo de experimentos, explorando a variação no número de furos (2 furos separados de 180^0, três furos separados de 120^0 e quatro furos separados de 90^0) e a variação no diâmetro dos pregos (pequeno, médio e grande). Com isso seriam preparadas nove latas. É importante que elas sejam da mesma marca de refrigerante, caso contrário as pequenas variações de uma marca para a outra poderão induzir erros no experimento.

b. Estabelecer um número de repetições de cada teste de contagem de voltas, para que possam ser calculadas as médias de cada experimento (sugire-se um mínimo de três repetições). Se houver a disponibilidade, os alunos podem filmar cada um dos testes com uma máquina fotográfica digital e contar o número de voltas repassando a filmagem em câmara lenta.

c. Fazer cada um dos nove testes, repetindo três vezes cada um deles, e calcular as médias do número de voltas. A média será obtida com uma calculadora.

d. Colocar os resultados em uma matriz de três linhas por três colunas. Cada linha deve corresponder a um número diferente de furos e cada coluna a um diâmetro diferente dos furos.

e. Discutir com a classe os resultados obtidos e analisar as tendências de aumento ou diminuição do número de voltas em função do número de furos e de seu diâmetro. Os resultados também poderão ser organizados em um gráfico. Nele, o eixo "X" indicaria o número de furos, o eixo "Y" indicaria o número de voltas. Os pontos seriam distribuídos no plano do gráfico e unidos em três linhas, cada uma delas correspondendo a um diâmetro diferente do furo. Esta é uma outra forma de analisar os resultados.

Orientações complementares

O movimento angular do satélite em torno do seu centro de massa define sua atitude. A atitude precisa ser controlada para que o satélite comporte-se de forma a satisfazer os requisitos da missão para a qual ele foi projetado.

Assumindo-se que, uma vez em órbita polar, o satélite possuísse somente o movimento de translação em torno da Terra, ocorreria a situação ilustrada na Figura 5.45, qual seja, no ponto A as câmeras estariam direcionadas à superfície terrestre e, no ponto B, as câmaras estariam apontadas para o espaço sideral, implicando a inutilidade delas para efeito de imageamento da Terra.



Acervo OBA.

Figura 5.45.

A solução para este problema é fazer com que o satélite gire em torno do seu próprio eixo a uma velocidade angular equivalente ao período de translação do satélite em torno da Terra. Dessa forma, as câmeras imageadoras estarão sempre apontadas para a superfície terrestre, conforme ilustrado pela situação C da Figura 5.45.

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

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

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

Possíveis desdobramentos

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

CONCEITOS BÁSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Angelica Di Maio (IG/UFF).

Apresentação

A obtenção de informações a partir de dados de sensoriamento remoto baseia-se no estudo das interações entre a energia eletromagnética e os diferentes alvos da superfície terrestre. É, portanto, fundamental o conhecimento dos conceitos básicos que envolvem essa ciência, que permite a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos por meio de sensores.

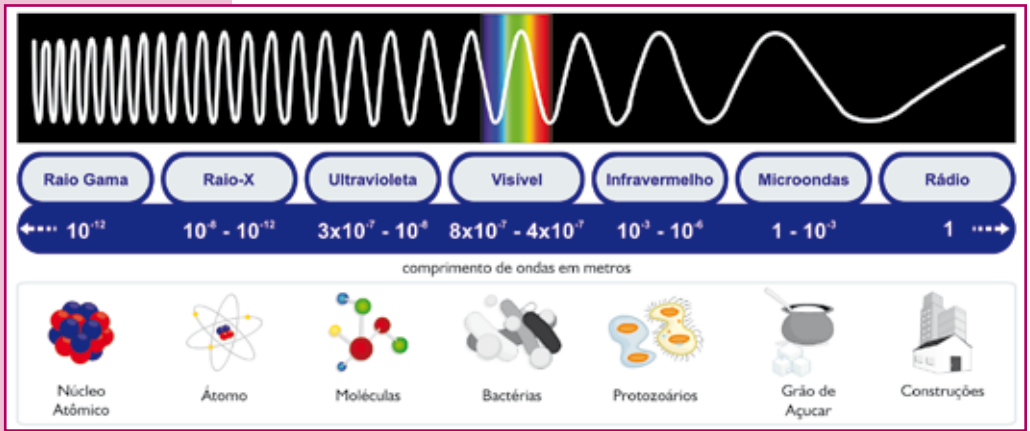
Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, por exemplo, uma imagem, um gráfico ou uma tabela.

Existem ao redor do mundo estações de rastreio de satélites de recursos terrestres, formando uma rede que permite que sejam coletadas informações sobre a superfície terrestre em todas as latitudes e longitudes. A estação brasileira para recepção de imagens Cbers, Landsat e Spot, cujo principal objetivo é cobrir o território nacional, está instalada em Cuiabá, MT. De lá a estação cobre não só o Brasil, mas também boa parte da América do Sul. Outras estações recobrem a América do Sul e estão localizadas na Argentina e Equador.

Princípio básico

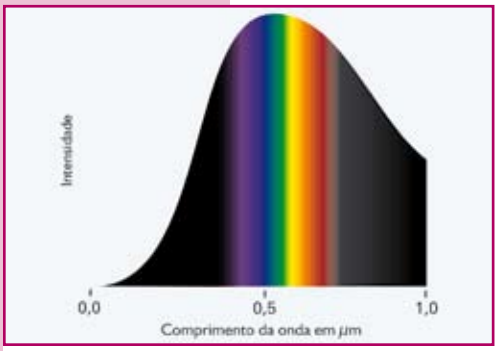
O princípio básico é a transferência de dados do objeto para o sensor por meio de radiação eletromagnética (REM).

O espectro eletromagnético estende-se desde comprimentos de ondas muito curtos, associados aos raios cósmicos, até ondas de rádio de baixa freqüência e grandes comprimentos de onda. Mais de 99% da radiação oriunda do Sol é composta por ondas eletromagnéticas de 0,15 μm a 4,99 μm de comprimento. Este intervalo é denominado região da radiação solar e, portanto, é nesta região que se concentram as atividades ligadas ao sensoriamento remoto de recursos naturais. Por causa da absorção pelo ozônio e oxigênio atmosférico, o limite inferior da radiação recebida na superfície terrestre está em torno de 0,20 μm.



André Silva (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 5.46. O espectro eletromagnético.



André Silva (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 5.47. A distribuição espectral da radiação solar.

Por outro lado, o olho humano responde à radiação de comprimento de onda compreendido entre 0,4 μm a 0,7 μm, aproximadamente, por meio de mudanças fotoquímicas que ocorrem na retina. A radiação capaz de impressionar nossa vista é denominada radiação visível ou luz visível.

E como funciona?

No momento em que a radiação eletromagnética (REM) atinge a matéria, ocorrem interações, podendo a energia comportar-se

da seguinte forma: parte da REM é refletida; parte penetra no objeto, sendo, parcialmente, absorvida; e parte é transmitida. Além disso, a matéria também emite radiação.



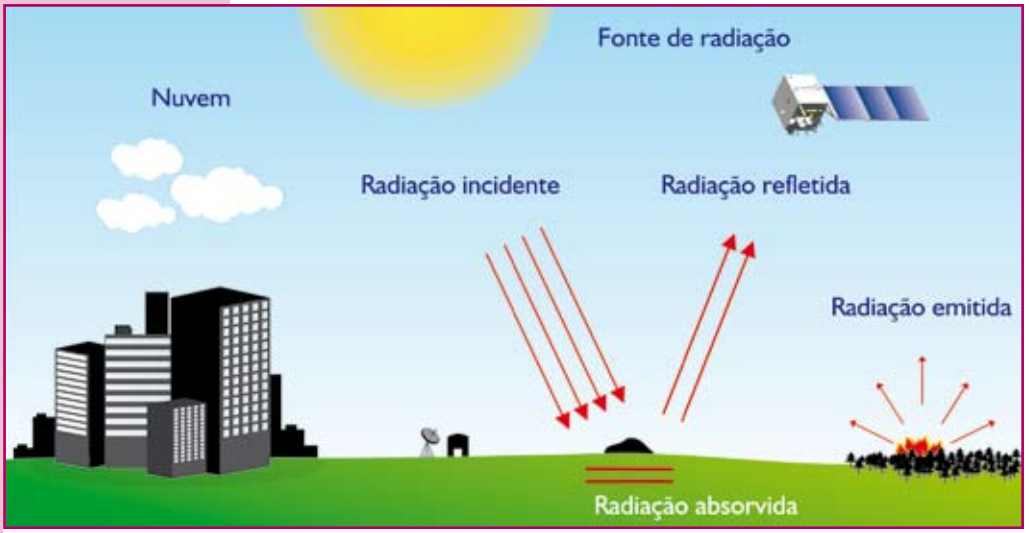
Figura 5.48. Interação da radiação com a matéria.

André Silva (AEB/Programa AEB Escola).

A radiação solar incidente na superfície terrestre interage de modo diferente com cada tipo de alvo. Esta diferença é determinada, principalmente, pelas diferentes composições físico-químicas dos objetos ou feições terrestres. Esses fatores fazem com que cada alvo terrestre tenha sua própria "assinatura espectral". Em outras palavras, cada alvo absorve ou reflete de modo diferente cada uma das faixas do espectro da radiação incidente. Outros fatores também influenciam no processo de interação da REM com os alvos, como, por exemplo, a posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria de imageamento.

A energia radiante emitida pelo Sol, após atravessar a atmosfera, atinge a superfície terrestre (alvo – por exemplo, água, vegetação, estrada, prédios etc.), sofre interações, produz uma radiação de retorno, que se propaga novamente pela atmosfera e atinge o sensor do satélite, onde é detectada. Além de refletir a energia proveniente do Sol, o alvo também emite radiação, a maior parte da qual na faixa do infravermelho. É assim, por exemplo, que alguns sensores de satélites detectam a existência de queimadas. Essa radiação é transformada em sinais elétricos, que correspondem às variações de energia da cena original (Figura 5.49). Esses sinais elétricos são transmitidos e registrados nas estações de recepção de dados terrestres em meios de armazenamento.

Vale ressaltar que, quando adquirimos um dado por meio de um sensor remoto, o sinal coletado interage com a atmosfera até atingir o sensor. Os processos de atenuação mais importantes que afetam a propagação da radiação eletromagnética pela atmosfera são: absorção e espalhamento.



André Silva (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 5.49. Esquema de aquisição de dados por sensoriamento remoto.

Ainda sobre os sensores

As características dos sistemas sensores são expressas em função de quatro domínios de resolução: espectral, espacial ou geométrica, temporal e radiométrica. Resolução refere-se à habilidade de um sistema de sensoriamento remoto para produzir uma imagem nítida e bem definida.

Resolução espectral: refere-se ao poder de resolução que o sensor tem para discriminar diferentes alvos sobre a superfície terrestre. Em outras palavras, ela é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a resolução espectral do sensor.

Se um sistema sensor possui detectores operando em mais de uma faixa espectral do espectro eletromagnético o sistema é dito multiespectral, porque registra a radiação eletromagnética proveniente dos alvos em várias faixas espectrais; como exemplo, o sistema sensor CCD, a bordo do satélite Cbers, capaz de registrar dados nas seguintes faixas espectrais: 0,45 μm – 0,52 μm (azul),

0,52 μm – 0,59 μm (verde), 0,63 μm – 0,69 μm (vermelho), 0,73 μm – 0,77 μm (infravermelho próximo) e 0,51 μm – 0,73 μm (pancromático).

Conhecendo o comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre é possível escolher as bandas mais adequadas para estudar os recursos naturais.

Resolução espacial: é definida pela capacidade de o sistema sensor "enxergar" objetos na superfície terrestre; quanto menor for o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial. Por exemplo, a resolução espacial da CCD do Cbers é de 20 metros e a do sensor a bordo do satélite norte americano Ikonos chega a 1 metro. Dessa forma, um automóvel seria visto pelo satélite Ikonos, mas não pelo Cbers.

Resolução temporal: esta resolução indica o intervalo de tempo que o sensor leva para voltar ao mesmo local. Isso depende da largura da faixa imageada no solo e das características da plataforma. Por exemplo, o sensor ETM do Landsat-7 tem uma resolução temporal de 16 dias, isto é, a cada 16 dias o Landsat-7 passa sobre um mesmo ponto geográfico da Terra. A resolução temporal do Cbers varia em função da faixa imageada pela câmera. Para a câmera CCD, a resolução temporal é de 26 dias. A WFI e a HRC possuem resolução de 5 dias e 130 dias, respectivamente. A resolução temporal é muito importante porque permite fazer um acompanhamento dinâmico dos alvos sobre a superfície da Terra. Para o monitoramento de queimadas, por exemplo, é necessário um sensor com alta resolução temporal, pois este tipo de monitoramento requer dados diários.

Resolução radiométrica: esta resolução de um sensor refere-se a sua capacidade de discriminar, numa área imageada, alvos com pequenas diferenças de radiação refletida e/ou emitida. A resolução radiométrica do sensor TM (Landsat 5) é de 256 níveis de cinza e a do sensor do Ikonos é 2.048, ou seja, este é capaz de registrar 2.048 diferentes intensidades de radiação provenientes

das cenas imageadas. A resolução radiométrica da câmera CCD do Cbers é de 8 bits, ou 28 = 256 níveis de cinza. Entretanto, esta resolução varia em função da faixa de freqüência e do nível de ruído presente na eletrônica do equipamento.

Objetivo

Sedimentar os conceitos necessários para a compreensão mais ampla dos produtos gerados a partir de sensores remotos.

Sugestão de problematização

Quais os diferentes níveis de aquisição de dados? Quais as vantagens e desvantagens dos produtos gerados a partir de aeronaves (fotografias aéreas) e a partir de plataformas orbitais (imagens de satélites)?

Discuta sobre o uso de sensores que operam em diferentes regiões do espectro eletromagnético, por exemplo, o uso do radar (microondas) na Amazônia em função da cobertura de nuvens e o uso de sensores na faixa do infravermelho termal (de 3,5 μm a 3,9 μm) para a detecção de queimadas.

Materiais

- Imagens de satélites
- 1 régua

Procedimentos

Atividade 1

1. Entregar aos alunos uma fotografia aérea com escala conhecida e trechos assinalados, como exemplificado na Figura 5.50.
2. Pedir que os alunos estudem a fotografia aérea em duplas e respondam às seguintes perguntas:



Acervo do Laboratório de Planejamento Urbano e Regional da Univap.
Fotografia aérea vertical, obtida em 1988, na escala 1:10.000, que recobre parte da área urbana de São Jose dos Campos.

Figura 5.50. Fotografia aérea pancromática de parte da cidade de São José dos Campos.

Conhecendo-se a escala da fotografia aérea (1:10.000) da Figura 5.50, responda:

a. A extensão ("tamanho") do trecho da Rodovia Presidente Dutra indicado na foto com o número 1.

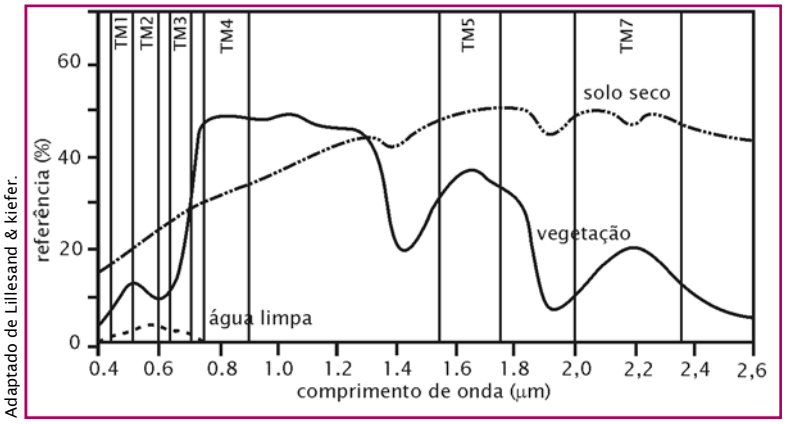
b. Com relação à feição de número 3, o que você poderia dizer com respeito a sua "textura e tonalidade", comparando com o seu entorno? Ela (3) se repete em outra parte da foto?

c. Usando-se o elemento "aspecto associado", o que sugere a área referente ao número 3?

d. Com relação ao "padrão" de ocupação apresentado na foto, e pela "posição geográfica", você caracterizaria a área como urbana ou rural? Com relação à ocupação, você diria que a região é densa ou esparsamente ocupada?

Atividade 2

1. Entregar aos alunos uma imagem que mostre o comportamento espectral dos alvos: água, vegetação e solo, como exemplificado na Figura 5.51.



Adaptado de Lillesand & Kiefer.

Figura 5.51. Comportamento espectral dos alvos: água, vegetação e solo.

2. Pedir que os alunos respondam às questões a seguir, com base na análise da imagem.

   Observe a Figura 5.51 e responda:

   a. Por que é importante o conhecimento do comportamento espectral dos diferentes alvos para a interpretação de um produto de sensoriamento remoto?

b. O que é assinatura espectral de um alvo?

c. Compare as curvas espectrais dos alvos apresentados no gráfico e responda como se dá o comportamento espectral da água em relação aos demais alvos.

Atividade 3

1. Entregar aos alunos duas imagens que mostrem áreas específicas a serem identificadas, como exemplificado nas Figuras 5.52 e 5.53.

2. Pedir que os alunos respondam às questões a seguir, com base na análise das imagens:

   Observe e compare os dois produtos orbitais (Figuras 5.52 e 5.53) em relação à resolução espacial:

   a. Que imagem apresenta maior resolução espacial?

   b. Identifique os alvos A e B na Figura 5.52.

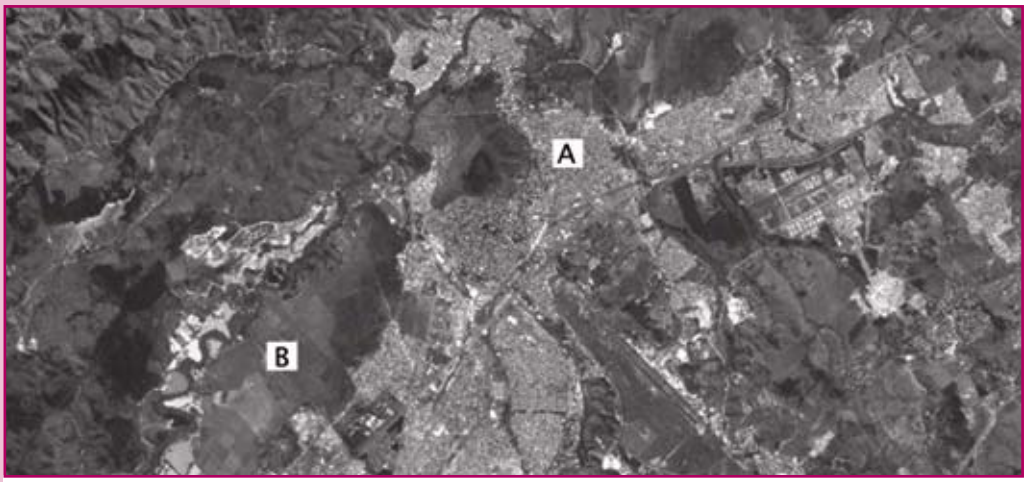
   c. Identifique os alvos A e B na Figura 5.53.

   d. Localize o trecho apresentado na Figura 5.52 na Figura 5.53.



Acervo do Laboratório de Planejamento Urbano e Regional da Univap.

Figura 5.52. Imagem Ikonos Pancromática (resolução espacial de 1m) de um setor da cidade de São José dos Campos, SP.



Prefeitura Municipal de São José dos Campos (CD-Cidade Viva), 2003.

Figura 5.53. Mosaico de imagem Spot de 1997 – São José dos Campos, SP.

Atividade 4

1. Como se dá a obtenção de dados por sensoriamento remoto?
2. Explique como a radiação eletromagnética se comporta ao atingir um alvo na superfície terrestre.
3. Como a atmosfera afeta a propagação da radiação solar e a aquisição de dados por sensoriamento remoto? Em função disto, explique o que é janela atmosférica.
4. Explique por que o céu é azul e as nuvens são brancas.

Orientações complementares

Há mais textos e atividades propostas no sítio www.uff.br/geoden (Ensino Médio).

Para saber mais sobre o assunto, leia também:

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais.** São Paulo: Inpe. Oficina de textos, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** São José dos Campos: Inpe, 2001.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Ed. Blücher Ltda., 1989.

Possíveis desdobramentos

- Observar imagens em diversas bandas (por exemplo, imagens Cbers obtidas gratuitamente no sítio do Inpe) e verificar como os alvos aparecem de forma diferenciada, conforme refletem mais ou menos em determinadas faixas do espectro.
- No Atlas Digital de Ecossistemas da América do Sul e Antártica, cuja versão em CD acompanha esta publicação, você observará como as águas dos Rios Solimões e Negro aparecem diferentes. Procure saber por quê.
- Pesquisar sobre as órbitas dos satélites de recursos naturais e comparar com os satélites meteorológicos.

DECOMPOSIÇÃO DAS CORES

João Batista Garcia Canalle (Uerj) e Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj).

Apresentação

Nesta atividade mostramos como decompor as cores da luz solar em todas as suas componentes visíveis usando um pequeno espelho plano imerso na água, o qual substitui o prisma.

Objetivos

Demonstrar que a luz branca proveniente do Sol na verdade é constituída das cores visíveis no arco-íris.

Ilustrar o fato de que as cores têm diferentes índices de refração quando atravessam a água e que tal fato permite a decomposição da luz branca em suas constituintes.

Sugestão de problematização

Estimular os alunos a substituírem a água por outros líquidos, tais como: água salgada ou doce, refrigerante, leite e detergente.

Materiais

- 30 cm de fio de cobre encapado com aproximadamente 3 mm de diâmetro
- 1 garrafa PET grande, transparente
- 1 pedaço de espelho de aproximadamente 3 cm x 3 cm
- 1 pedaço de isopor fino do mesmo tamanho do espelho

- Cola ou fita adesiva resistente à água
- Água

Procedimentos

1. Usar o fundo de uma garrafa PET grande cortada em cerca de um terço da sua altura.
2. Furar a garrafa PET assim recortada, com um prego aquecido, em dois pontos diametralmente opostos, e cerca de 5 cm abaixo da superfície aberta da base da garrafa. Vide a Figura 5.54. O diâmetro do prego deve ser aproximadamente igual ao do fio de cobre (e respectivo revestimento) abaixo mencionado.
3. Desencapar o fio de cobre com cerca de 30 cm de comprimento e dobrar formando um "espeto" com uma laçada numa das extremidades, conforme mostra a Figura 5.54. Deixar encapados apenas dois pequenos segmentos do fio (cerca de 4 cm), que ficarão presos nas paredes da garrafa, permitindo girarmos o "espeto", no qual estará fixado o espelho.
4. Colar um pequeno pedaço de espelho (aproximadamente 3 cm x 3 cm) em um pedaço de isopor do mesmo tamanho e atravessar o isopor com o "espeto" constituído pelo fio de cobre, ou se preferir, pode-se fixar o isopor no fio com o uso de fitas adesivas.
5. Colocar água na garrafa cortada até encobrir totalmente o espelho quando este estiver na vertical. Se vazar água pelos furos, isso não importa, mas pode-se vedá-los.
6. Para ver a decomposição da luz solar, basta colocar o experimento sob o sol e fazer o reflexo da luz incidente sobre o espelho bater numa parede ou anteparo que, de preferência, esteja na sombra, para que melhor se visualizem as cores do arco-íris, principalmente quando a água não estiver em movimento.



João Batista Garcia Canalle (Uerj) e Adelino Carlos Ferreira de Souza (Uerj).

Figura 5.54 Experimento da decomposição das cores.

Orientações complementares

Devido ao baixo custo e simplicidade do experimento, é recomendável que o educador incentive que cada aluno faça o seu em casa, investigando o que acontecerá com a luz refletida se a água for substituída por outros líquidos.

Possíveis desdobramentos

- Professor/a peça aos alunos que modifiquem o experimento no sentido de deixá-lo ainda mais simples e que investiguem também o que ocorre com o reflexo da luz incidente no espelho quando ele estiver mais "fundo" ou mais "raso" na água.
- Havendo mais de um experimento disponível, você pode também pedir que os alunos investiguem o que ocorre quando fazem incidir a luz refletida pelos espelhos submersos, vários ao mesmo tempo, desde que num mesmo local da parede, ou seja, o que ocorre com as cores quando sobrepomos os reflexos da luz num mesmo local.



Aos 23 anos, o genial Isaac Newton realizou um dos seus célebres experimentos, demonstrando que a luz branca do Sol era, na verdade, constituída da mistura de várias cores.

- Podem ainda, substituir a água por outros líquidos como, por exemplo: água salgada, água adoçada com açúcar, refrigerante, leite, detergente etc.

O DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA

Angelica Di Maio (IG/UFF).

Apresentação

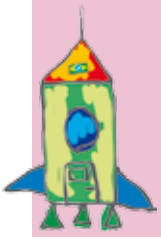
A Amazônia Legal possui a maior área remanescente de floresta tropical do mundo, com cerca de 3.900.000 km^2. As comunidades, vegetal e animal, da floresta tropical na Amazônia representam um depositário de inumeráveis espécies e linhas genéticas, de produtos naturais e interações ecológicas entre as suas espécies de grande potencial para usos agropastoris, comerciais, industriais, energéticos e medicinais, cuja ínfima parcela tem sido analisada e estudada (Rankin, 1979; Câmara, 1986). A comunidade em si mesma não é um recurso renovável, embora certos elementos da comunidade (madeiras de lei, por exemplo) possam ser renovados quando tratados sob sistemas adequados de manejo e sem pressão de uso intensivo. A Floresta Tropical Amazônica é, portanto, um ecossistema frágil.

Apesar de suportar uma floresta tão exuberante, a maior parte dos solos da Amazônia é de baixa fertilidade. Segundo Schubart *et al*. (1984), a elevada eficiência na reciclagem de nutrientes minerais observada nas florestas tropicais tem sido correlacionada com a alta diversidade biológica. Alta diversidade biológica significa a existência de um número correspondentemente alto de inter-relações entre os organismos, resultando no aproveitamento máximo de qualquer excesso de material ou de recurso do ambiente.

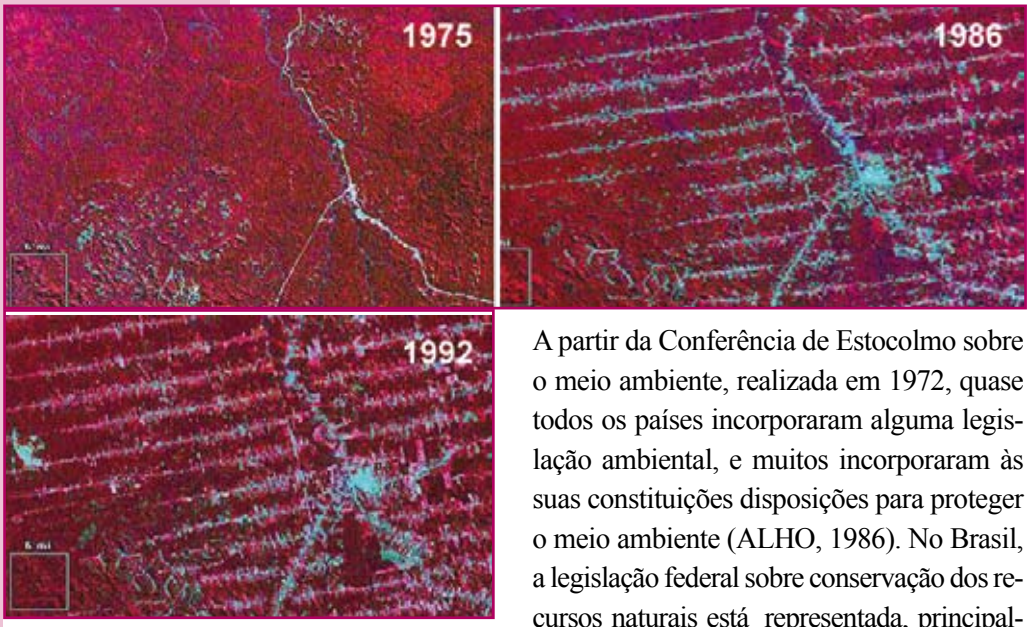
Deter e Prodes são programas de monitoramento do desmatamento na Amazônia Legal, por meio de imagens de satélites. Para mais informações, acesse:

http://www.obt.inpe.br/prodes

http://www.obt.inpe.br/deter



A preocupação pelo tema "meio ambiente" tomou dimensão maior nos anos 1960.



Inpe. www.inpe.br/

Figura 5.55A, B e C. Imagens de satélites mostram as mudanças no uso da terra.

A partir da Conferência de Estocolmo sobre o meio ambiente, realizada em 1972, quase todos os países incorporaram alguma legislação ambiental, e muitos incorporaram às suas constituições disposições para proteger o meio ambiente (ALHO, 1986). No Brasil, a legislação federal sobre conservação dos recursos naturais está representada, principalmente, pelo Código Florestal (Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965). Contudo, decretos proibindo o desmatamento (como a Lei nº 7.511, de 7 de julho de 1986) têm efeito mínimo sobre aqueles que vivem distantes de estradas e cidades, e espalhados por uma região tão vasta como a Amazônia (FEARNSIDE, 1989). Desta forma, muitos eventos no processo de desmatamento ficam fora do controle do governo.

Qualquer política de desenvolvimento visando limitar efetivamente o desmatamento deve ser baseada no conhecimento de causas básicas que vêm motivando este processo (FEARNSIDE, 1979). O processo de desmatamento na Amazônia foi influenciado por uma série de fatores. Basicamente, foi estimulado por programas que atraíram migrantes de outras partes do País, como o estabelecimento de projetos de colonização e melhorias das estradas de acesso. A construção de grandes rodovias, como, por exemplo, a Belém-Brasília, responsável pela criação de grandes núcleos de desmatamento no sul do Pará e norte do Mato Grosso,

e a Cuiabá-Porto Velho, que deu início a focos de desmatamento na região oeste da Amazônia, juntamente com incentivos fiscais – que visavam gerar e dinamizar as atividades agropecuárias, colocaram, decisivamente, em risco toda a fragilidade do ecossistema amazônico (AYRES e Best, 1979; FEARNSIDE, 1989).

Segundo Fearnside (1989), a implantação de pastagens contribui consideravelmente para a aceleração do desmatamento, tanto por pequenos colonizadores quanto por grandes latifundiários e especuladores. O desmatamento para a implementação de pastagem é o método mais utilizado por posseiros e grileiros, pois a pastagem representa a forma mais fácil de ocupação de uma área extensa. A comercialização de madeira, bem como a destruição em larga escala da floresta para a produção de carvão vegetal e a extração de outros produtos derivados da floresta já estão se tornando uma fonte substancial de distúrbios.

Muitos são os riscos ecológicos associados à derrubada de grandes áreas de floresta como, por exemplo:

- Compactação e erosão do solo, e conseqüente perda de fertilidade, uma vez que o desmatamento interrompe o ciclo de nutrientes no ecossistema.
- Assoreamento de igarapés e rios com o material resultante da erosão, com conseqüente ocorrência de enchentes.
- Redução da diversidade genética e extinção local de espécies, causando desequilíbrio populacional e riscos de proliferação de pragas.
- Modificação do ciclo hidrológico, caracterizada pela redução da evapotranspiração real, aumento do escorrimento superficial da água, provocando enchentes durante as chuvas e estiagens mais longas durante os meses secos.

Cinqüenta por cento da precipitação da região amazônica é proveniente da evapotranspiração da própria floresta (SALATI,1983). Por meio deste processo, a floresta aumenta o tempo de permanência da água no sistema, devolvendo para a atmosfera, na forma de

vapor, parte da água presente no solo. Uma outra cobertura, cuja evapotranspiração não substitua a inicial da região, determina menor disponibilidade de vapor na atmosfera, com conseqüente redução na precipitação, especialmente nos períodos mais secos. Deve-se esperar, pois, que no caso da substituição de floresta por pastagens ou por culturas anuais em grande extensão da Bacia Amazônica, o clima sofra modificações no sentido de ter um período seco prolongado melhor definido, com um *deficit* de água no solo e maiores oscilações das temperaturas. Segundo Salati (1983), uma redução da precipitação de 10% a 20% já seria suficiente para induzir profundas modificações no atual ecossistema.

Dependendo da dimensão das alterações ocorridas, as conseqüências climáticas do desmatamento se estendem além do nível regional. Como Bunyard (1987) relatou, grande parte da água evaporada da Floresta Amazônica é carregada pelos ventos em direção às latitudes mais altas. No processo, o calor latente é transmitido dos trópicos para latitudes mais altas, desta forma contribuindo, significativamente, para um clima mais eqüitativo em áreas temperadas. Assim, as florestas tropicais úmidas do mundo, em particular a floresta amazônica, podem ser consideradas como um componente vital no processo de extrair calor das regiões quentes do globo para as regiões mais frias. Em suma, a presença das florestas serve para moderar extremas variações climáticas globais. Talvez a conexão mais importante entre clima e floresta seja o papel desta no ciclo global do carbono (The World Resource Institute, 1990). É importante ressaltar que, embora a Floresta Amazônica não seja uma fonte relevante de oxigênio, é um grande reservatório de carbono. O desmatamento acrescenta dióxido de carbono na atmosfera, como resultado da queima de florestas e da decomposição da vegetação cortada e abandonada. A elevação dos níveis de CO_2 provocam aquecimento global devido ao efeito estufa, pois o CO_2 retém a energia solar que a terra reemite para o espaço, causando aumento na temperatura da superfície terrestre.

O aquecimento do planeta devido ao aumento de CO_2 na atmosfera seria causado por um fenômeno muito simples. De acordo

com Salati (1983), a radiação solar, composta principalmente de radiações de ondas curtas, atravessa a atmosfera sem grandes dificuldades e praticamente sem dependência da concentração de CO_2 na atmosfera. No entanto, a radiação emitida pelo solo, que é aquecido pelos raios solares, é de comprimento de onda maior e é absorvida pelo CO_2. Assim, o aumento de CO_2 na atmosfera provoca uma alteração no equilíbrio de energia de forma a aumentar a fração retida pela atmosfera, aquecendo-a. Desta forma, o monitoramento e a fiscalização dos desmatamentos e queimadas são fundamentais e o sensoriamento remoto orbital fornece os meios para o acompanhamento e prevenção desses eventos na grande extensão da Amazônia e no País como um todo.



Inpe. http://www.obt.inpe.br/prodes/

Figura 5.56. Resultados do Projeto Prodes.

Objetivos

1. Mostrar a importância do uso das imagens de satélite na observação dos recursos naturais da Terra.
2. Familiarizar os alunos com produtos espaciais para a compreensão dos fenômenos que ocorrem na superfície do nosso planeta.
3. Suscitar reflexão a partir da constatação de situações ligadas ao desmatamento e às queimadas.
4. Familiarizar os alunos com imagens meteorológicas, tão divulgadas na mídia, disponíveis diariamente em sítios na Internet, com a finalidade de promover a compreensão de fenômenos atmosféricos.

5. Suscitar reflexão sobre as mudanças climáticas globais.
6. Incentivar a consulta aos sítios ligados às atividades espaciais.

Sugestão de problematização

Quais os problemas ambientais enfrentados na Amazônia? O que vem sendo feito para minimizar tais problemas? Ocorre o mesmo na Mata Atlântica?

Discuta sobre as mudanças climáticas globais. O que é o Protocolo de Quioto? O Brasil tem participado efetivamente? Como? E os demais países no mundo?

Materiais

- Papel vegetal milimetrado
- 1 régua
- 1 calculadora (opcional)
- Computador com acesso à Internet

Procedimentos

Atividade 1

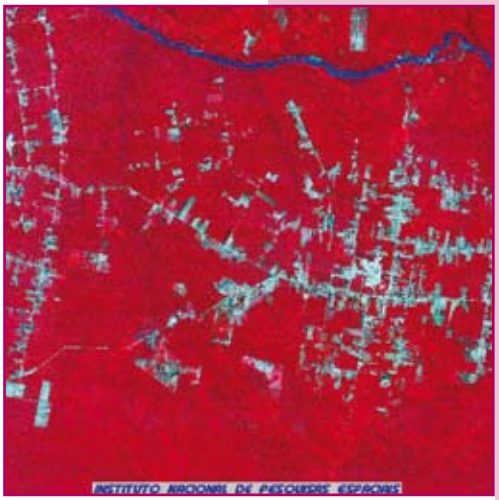
1. Analise as imagens do satélite Landsat, Figura 5.57A (09/julho/1977) e Figura 5.57B (08/agosto/1984) da Amazônia (região do estado de Mato Grosso, próxima à divisa com o Pará), cuja escala original é de 1:500.000. A partir do recurso da multitemporalidade das imagens orbitais e do elemento de interpretação "tamanho" responda:
   a. Qual é a área (aproximada) desmatada em ambas as imagens?
   b. Houve crescimento ou decréscimo da área desmatada de uma data para outra?

2. Para delimitar as áreas desmatadas pode ser utilizado papel vegetal milimetrado, o qual possibilita o cálculo dessas áreas com base na escala da imagem e contagem dos quadrados do papel.



Inpe. http://www.dgi.inpe.br/html/gal-1.htm/

Figura 5.57A. Amazônia – MT (1977).



Inpe. http://www.dgi.inpe.br/html/gal-1.htm/

Figura 5.57B. Amazônia – MT (1984).

Atividade 2

1. Visite o sítio do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (Cptec/Inpe) (http://www.cptec.inpe.br/queimadas/).
   a. A partir dos dados em tempo real analise as ocorrências de queimadas no Brasil para a data de hoje.
   b. Analise ao longo das estações do ano o número de queimadas na região amazônica no ano de 2005 (utilize o banco de dados no próprio sítio). Qual o período de maior ocorrência de queimadas no Brasil? Por quê?
   c. Verifique o tipo de cobertura vegetal mais atingido.

Atividade 3

1. Visite sítios de previsão do tempo e observe imagens de satélites para o dia de hoje.

2. Com base no conhecimento sobre essas imagens, elabore uma provável previsão do tempo para a sua região.
3. Em seguida compare com a previsão feita nos sítios especializados ou no jornal.

Atividade 4

1. Visite o sítio da Embrapa (http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/).
   a. Clique nos estados da Região Norte. Verifique a situação dos diferentes estados quanto à ocorrência de solo exposto (área que não possui cobertura vegetal). Que situação você pode constatar?
   b. Clique no seu estado e localize o município onde você mora. Quais as feições naturais ou artificiais você consegue reconhecer na imagem?

Orientações complementares

Consultar o sítio educativo www.uff.br/geoden/, onde são encontradas outras atividades relacionadas ao uso de imagens de sensoriamento remoto, voltadas para o ensino básico.

Consultar o "Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica através de imagens de satélite", cuja a versão em CD acompanha esta publicação, para mais exemplos de imagens, com recurso da multitemporalidade, não somente da Amazônia, mas de outros ecossistemas.

Ajuda em: http://www.uff.br/geoden/ (Módulo 3 – Previsão)

Para saber mais sobre clima e tempo, acesse os sítios:

http://www.uff.br/geoden/index_previsao_geodem.htm/

http://www.cptec.inpe.br/tempo/

http://www.infotempo.uol.com.br/

http://www.climatempo.com.br/

http://www.cptec.inpe.br/clima/

O documentário Uma Verdade Inconveniente (EUA: Paramount, 2006. 1 DVD) mostra as drásticas conseqüências do aquecimento global.

Possíveis desdobramentos

A partir dessas atividades, é possível desencadear novos estudos com imagens. Veja outras sugestões:

1. Discuta sobre as mudanças climáticas estudadas e as conseqüências para o planeta.
2. Pesquise sobre o fenômeno do *El Niño* e *La Niña* (http://www.cptec.inpe.br/enos/).
3. Visite o sítio do Inpe e veja a Antártica (http://www.cptec.inpe.br/antartica/).
4. Pesquise sobre o buraco na camada de ozônio.

OFICINA DE LEITURA DE IMAGENS

Teresa Gallotti Florenzano (DSR/Inpe) e Angelica Di Maio (IG/UFF).

Apresentação

O termo cobertura e uso do solo é definido como a forma pela qual o espaço terrestre está sendo ocupado, que pode ser natural ou por atividades antrópicas (resultantes da ação do ser humano). Os aspectos relacionados a essa ocupação podem ser identificados nas imagens orbitais ou em fotografias aéreas pela interpretação.

O que é interpretação de imagens?

Uma imagem orbital contém muitos "dados". Para que esses dados se tornem "informação", é necessária a sua interpretação a partir das diferentes áreas do "conhecimento".

Interpretar imagens é identificar objetos nelas representados e dar um significado a esses objetos. Assim, quando identificamos em uma imagem uma represa, uma mancha urbana, uma mata, estamos fazendo a sua interpretação.

As imagens obtidas por sensores remotos, qualquer que seja seu processo de formação, registram a energia proveniente dos objetos. Independentemente da resolução e escala, as imagens apresentam os elementos básicos de reconhecimento, que são: tonalidade/cor, forma, padrão, textura, tamanho, sombra, aspectos associados e posição geográfica.

Essas são as características, na representação por imagem, dos objetos no terreno. Em certos casos, pode-se precisar da informação de apenas um ou dois elementos de reconhecimento para se fazer a interpretação correta, em outras, é necessário que se utilize vários desses elementos.

Esses fatores-guias podem ser agrupados para se chegar a uma "chave de interpretação" de determinado fato. Uma "chave de interpretação" é a descrição da imagem de um dado objeto na foto por meio de sua forma, tonalidade ou cor, tamanho, padrão etc.

Objetivos

1. Identificar informações sobre a superfície terrestre contidas em imagem de sensoriamento remoto,
2. Relacionar as imagens com mapas locais, cartas topográficas e fotografias.

Sugestão de problematização

Percebemos que os "olhos" atentos dos satélites permitem que possamos cuidar melhor do nosso planeta. Você concorda? O Brasil utiliza muitos dados orbitais? Você conhece projetos importantes em nosso país que usam imagens de satélites? Quais são essas imagens, de qual(is) satélite(s)? Por que usar imagens do satélite americano Noaa para a detecção de queimadas? Por que nas imagens Ikonos (aquelas do Google Earth), percebemos tão bem as formas na cidade?

Materiais

- Folhas de papel vegetal tamanho A3
- Mapas da sua cidade ou da capital do seu estado – novos e antigos
- 1 caixa de lápis de cor (não pode ser lápis de cera)
- 1 régua
- 1 borracha
- 1 lápis preto
- Imagens fotográficas da sua cidade ou da capital do seu estado que mostrem paisagens

- Imagem de satélites da sua cidade ou da capital do seu estado, as quais podem ser obtidas em http://www.dgi.inpe.br/
- Imagem de alta resolução espacial da sua cidade ou da capital do seu estado, que podem ser obtidas no sítio http://earth.google.com/

Procedimentos

1. Considerando que a pista do aeroporto mede 3,3 km, calcule a escala da imagem Cbers-2 da sua cidade.
2. Interpretar a imagem Cbers-2 da sua cidade seguindo as etapas:
   a. Fixar com fita crepe o papel vegetal somente na parte superior da imagem.
   b. Selecionar uma área desta imagem para a atividade (um retângulo) que seja heterogênea e representativa.
   c. Delimitar o retângulo selecionado sobre o papel vegetal.
   d. Com base nos elementos de interpretação (cor, textura, forma, tamanho, sombra, padrão, localização e contexto), delimitar e identificar classes de cobertura e uso da terra, como por exemplo:
      - Rede Viária Principal
      - Aeroporto
      - Área Urbana
      - Rede de Drenagem Principal/Mata Ciliar
      - Lago/Represa/Rio
      - Ponte
      - Bioma típico da região
      - Reflorestamento
      - Área Agrícola
      - Área Queimada

e. Criar uma legenda para essas classes, por meio de símbolos e cores. A legenda pode ser criada baseada na lógica perceptiva. Ajuda em: http://www.uff.br/geoden/ (Módulo 2 – Signos e Legenda).

3. Interprete a imagem Cbers-1 de da sua cidade no sítio http://www.dgi.inpe.br/ e destaque o que mudou nas especificações da imagem (satélite e data) e na área representada.

4. Interprete a imagem de alta resolução espacial da sua cidade no Google Earth (http://earth.google.com/), identifique e indique exemplos de alvos que podem ser discriminados nesta imagem.

Orientações complementares

Sítios com imagens de satélite grátis

Nos sítios relacionados abaixo, você poderá ter acesso a várias cartas-imagens que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de atividades com produtos de sensoriamento remoto.

Satélite Cbers. http://www.cbers.inpe.br/

Embrapa, com imagens de todos os estados brasileiros. Clique sobre a imagem com o *mouse* para obter imagens mais detalhadas da área de interesse. http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/

Engesat – galeria de imagens de satélite.
http://www.engesat.com.br/

Satmidia – galeria de imagens de satélite.
http://www.satmidia.com.br/

Divisão de Geração de Imagens do Inpe. http://www.dgi.inpe.br/

Galeria de imagens do mundo todo, da Earth Observatory.
http://earthobservatory.nasa.gov/observatory/

Galeria de imagens do sítio Our Earth as Art.
earthasart.gsfc.nasa.gov/index.htm/

Satélite amerciano Landsat
http://landsat.gsfc.nasa.gov/images/

Galeria de imagens do Earth from Space
http://eol.jsc.nasa.gov/sseop/EFS/
http://eol.jsc.nasa.gov/Coll/
http://eol.jsc.nasa.gov/cities/

Visible Earth-Nasa. http://www.visibleearth.nasa.gov/

UFRGS onde está toda a cobertura do Rio Grande do Sul (RS) em imagem Landsat. Para obter as imagens basta se cadastrar no sítio http://www.sct.rs.gov.br/programas/mosaico/index.htm/.

Possíveis desdobramentos

A partir desta atividade é possível desencadear novos estudos com imagens.

Procure por imagens de regiões conhecidas dos alunos (por exemplo, em: http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/). Procure por mais informações sobre os locais escolhidos no sítio do IBGE (http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php/), faça comparações com os mapas interativos, por exemplo, com áreas de proteção ambiental (http://www.ibge.gov.br/).

Atenção! A Escola e/ou professor poderá se cadastrar no sítio do Inpe e solicitar imagens recentes do Cbers ou mesmo imagens mais antigas do Landsat em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/

Há mais material no Programa EducaSere em:
http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/index.htm/

EXPERIMENTOS EDUCACIONAIS EM MICROGRAVIDADE NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL – GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO

Elisa Margarida Kovac Farinha Saeta (SME/PMSJC).

Apresentação

A convite da Agência Espacial Brasileira, quatro escolas da Rede Municipal de Ensino da cidade de São José dos Campos, SP, desenvolveram dois experimentos que foram conduzidos a bordo da Estação Espacial Internacional, por ocasião da Missão Centenário. Os experimentos conduzidos a bordo da ISS foram: Germinação de sementes de feijão e Cromatografia da clorofila.

Neste espaço abordaremos o experimento da Germinação de sementes de feijão e convidamos você a desenvolver o seu próprio experimento, comparando os seus resultados àqueles obtidos pelo astronauta brasileiro, a bordo da ISS.

Histórico

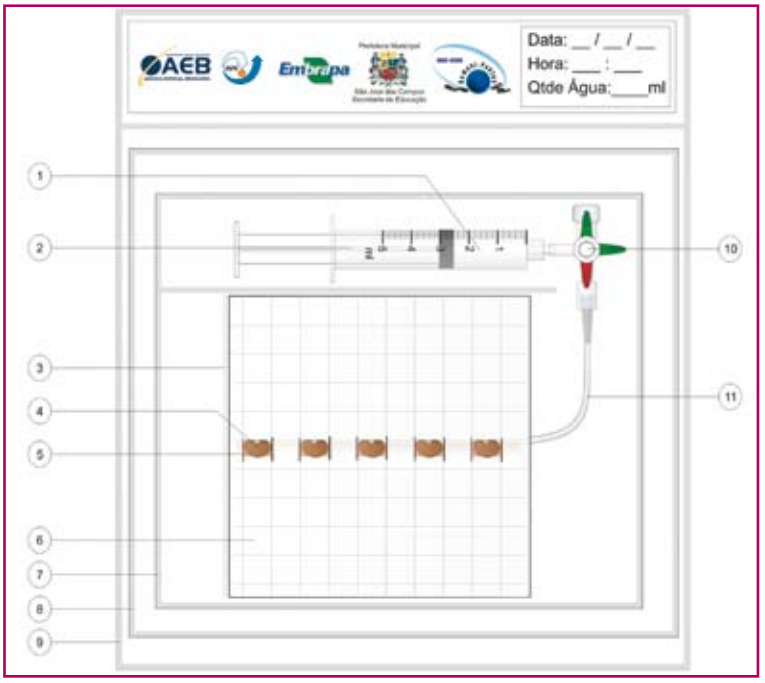
Aparentemente simples, de pequenas dimensões (270 mm x 250 mm x 80 mm) e leve (250 g), o experimento intitulado Germinação de sementes de feijão requereu algumas centenas de horas de trabalho envolvendo alunos e professores da Secretaria Municipal de Educação (SME) de São José dos Campos, pesquisadores e técnicos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Além da confecção dos experimentos propriamente ditos, foi necessária a elaboração de uma documentação que acompanhou

os experimentos. Essa documentação compreendeu mais de 300 páginas, escritas na língua inglesa e divididas em vários volumes. Em janeiro e fevereiro de 2006 técnicos russos vieram a São José dos Campos para avaliar os experimentos, a documentação elaborada e os testes conduzidos no Laboratório de Integração e Testes do Inpe. Além de verificar as dimensões e massa de cada um dos conjuntos, foram realizados testes de pressão, temperatura, umidade, vibração e choque. Também foi necessário avaliar se os materiais utilizados na confecção dos experimentos poderiam liberar gases tóxicos que colocassem em risco a tripulação e os equipamentos.

Germinação de sementes de feijão

Durante sete dias, 20 sementes de feijão germinaram a bordo da ISS, sob condições de microgravidade. As sementes foram acondicionadas em quatro sacos plásticos transparentes hermeticamente fechados, cada um com cinco sementes, Figura 5.58.



Paulo Sérgio Faria.

Figura 5.58. Representação esquemática do Conjunto 1.

Neste experimento, a germinação das sementes e o crescimento da planta foram testados sob diferentes condições de luminosidade e disponibilidade de água, visando observar os efeitos de fototropismo e geotropismo.

Geotropismo é o movimento de curvatura ou de crescimento da planta orientado pela força da gravidade. A raiz apresenta geotropismo positivo, ou seja, cresce na direção da força gravitacional e o caule apresenta geotropismo negativo, cresce em direção contrária à força gravitacional.

Fototropismo é o movimento de curvatura ou de crescimento da planta orientado pela luz. O caule responde com fototropismo positivo e a raiz com fototropismo negativo.

O experimento foi repetido em Terra com sementes similares, nas mesmas condições de luminosidade e disponibilidade de água e no mesmo intervalo de tempo do experimento realizado na Estação Espacial Internacional.

Sugestão de problematização

Repetir o experimento realizado por Marcos Pontes na ISS e por professores e alunos da Rede Municipal de Ensino de São José dos Campos, SP, comparando os resultados obtidos.

Objetivos

1. Avaliar o processo de germinação da semente do feijão (*Phaseolus vulgaris*) e os estágios iniciais de seu crescimento, sob os efeitos da microgravidade.
2. Avaliar os efeitos da luz e da sua ausência no processo de germinação.
3. Avaliar os efeitos da quantidade de água disponível no processo de germinação.

4. Comparar os resultados obtidos a bordo da ISS com aqueles obtidos em Terra.
5. Enfatizar a importância do trabalho em equipe.
6. Incentivar a participação dos estudantes nas experiências científicas, relacionando-as com suas atividades do dia-a-dia.

Materiais

- 20 sementes (grãos) de feijão
- 1 seringa de 5 ml (sem agulha)
- 4 pedaços de papel de filtro com as seguintes dimensões: 10 cm x 10 cm
- 4 pedaços de plástico, do tipo utilizado em pastas plásticas e encadernações, nas mesmas dimensões do papel de filtro
- Água
- 4 sacolas plásticas com tamanho superior a 10 cm x 10 cm
- Fita adesiva
- 1 caneta para retroprojetor
- Papel alumínio

Procedimentos

Com o intuito de evitar riscos à tripulação e à espaçonave, os experimentos desenvolvidos para serem operados a bordo da ISS continham barreiras de proteção formadas por três sacolas plásticas hermeticamente fechadas.

Em Terra, o experimento pode ser montado de uma maneira muito mais simples.

Montagem

1. Fixar, com fita adesiva, cinco sementes na parte central do papel de filtro.



Elisa M. K. Farinha Saeta (SME/PMSJC).

Figura 5.59. Conjunto 1 montado.

2. Fixar o papel na placa de plástico (para deixar o conjunto mais firme).
3. Inserir o conjunto acima no interior da sacola plástica.
4. Repetir os procedimentos 1 a 3 quatro vezes, numerando as sacolas da seguinte forma: Conjunto 1, Conjunto 2, Conjunto 3 e Conjunto 4.

Seguidos os passos 1 a 4, acima, você deverá obter um conjunto semelhante àquele mostrado na Figura 5.59.

Execução do experimento

Conjunto 1:

1. Utilizando a seringa, umedecer o papel no entorno das sementes com 2,5 ml de água.
2. Fechar a sacola plástica.
3. Fixar a conjunto na parede, em posição vertical. Sugestão: fixe-o com fita adesiva.
4. Acompanhar o experimento diariamente pelo período de sete dias, conforme segue:
   a. Fotografar ou desenhar o conjunto, com destaque para as sementes.
   b. Preencher o formulário intitulado Relatório Diário, Tabela 1.
   c. Realizar as observações sempre no mesmo horário.

Tabela 1 – Formulário para acompanhamento do experimento.

Astronauta (professor ou grupo de alunos):					
Tipo de semente (*Phaseolus vulgaris* ou outro tipo):					
Data de início do experimento:					
Horário:					
	Semente 1	Semente 2	Semente 3	Semente 4	Semente 5
Dia 1 T (°C)	A semente está em boa condição? Sim Não ( ) ( )	A semente está em boa condição? Sim Não ( ) ( )	A semente está em boa condição? Sim Não ( ) ( )	A semente está em boa condição? Sim Não ( ) ( )	A semente está em boa condição? Sim Não ( ) ( )
Dia 2 T (°C)	A semente aumentou de tamanho? Sim Não ( ) ( )	A semente aumentou de tamanho? Sim Não ( ) ( )	A semente aumentou de tamanho? Sim Não ( ) ( )	A semente aumentou de tamanho? Sim Não ( ) ( )	A semente aumentou de tamanho? Sim Não ( ) ( )
Dia 3 T (°C)	Surgiu uma pequena raiz (radícula) na semente? Sim Não ( ) ( )	Surgiu uma pequena raiz (radícula) na semente? Sim Não ( ) ( )	Surgiu uma pequena raiz (radícula) na semente? Sim Não ( ) ( )	Surgiu uma pequena raiz (radícula) na semente? Sim Não ( ) ( )	Surgiu uma pequena raiz (radícula) na semente? Sim Não ( ) ( )
Dia 4 T (°C)	A radícula está crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula está crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula está crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula está crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula está crescendo? Sim Não ( ) ( )
Dia 5 T (°C)	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )
Dia 6 T (°C)	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )	A radícula continua crescendo? Sim Não ( ) ( )
Dia 7 T (°C)	Existe uma estrutura verde saindo da semente? Sim Não ( ) ( )	Existe uma estrutura verde saindo da semente? Sim Não ( ) ( )	Existe uma estrutura verde saindo da semente? Sim Não ( ) ( )	Existe uma estrutura verde saindo da semente? Sim Não ( ) ( )	Existe uma estrutura verde saindo da semente? Sim Não ( ) ( )
Outras observações:					

Conjunto 2:

Seguir os mesmos procedimentos do Conjunto 1, fazendo uso de 4,0 ml de água.

Conjunto 3:

1. Utilizando a seringa, umedecer o papel no entorno das sementes com 2,5 ml de água.
2. Fechar a sacola plástica.
3. Embrulhar o conjunto em papel alumínio para evitar exposição à luz.
4. Fixar o conjunto envolvido em papel alumínio na parede, em posição vertical.
5. Após sete dias, remover o papel alumínio e fotografar o conjunto, com destaque para as sementes.

Conjunto 4:

Seguir os mesmos procedimentos do Conjunto 3, fazendo uso de 4,0 ml de água.

A partir dos resultados obtidos com os Conjuntos 1 a 4, será possível avaliar os efeitos da quantidade de água e luz sobre o processo de germinação.

Os efeitos da microgravidade poderão ser avaliados a partir da comparação desses resultados com aqueles obtidos por Marcos Pontes a bordo da ISS.

O que foi feito na ISS

Ao contrário dos experimentos da clorofila, as sacolas com as sementes de feijão voltaram à Terra com o astronauta. Por isso, foram transportadas em uma sacola alaranjada, denominada KIT SED, feita de um material especial, à prova de fogo, Figura 5.60.



Marcos Cesar Pontes. www.marcospontes.net/

Figura 5.60. Experimentos a bordo da ISS.

Após inspecionar o material para verificar a ocorrência de danos (por exemplo, vazamento de água da seringa e danos aos sacos plásticos e sacos de alumínio), o astronauta abriu a torneira de três vias (item 10 da Figura 5.58) para liberar a água da seringa, em cada um dos quatro sacos plásticos. Após a liberação da água, os sacos plásticos que estavam protegidos da luz foram novamente colocados nas sacolas de alumínio. Todos os sacos foram fixados à parede da ISS (Figura 5.50), valendo citar que o local de realização dos experimentos foi o módulo russo de adaptação pressurizada ("CO").

Os experimentos expostos à luz foram fotografados diariamente, ocasião em que o astronauta também registrava a evolução dos mesmos. Para facilitar a identificação, as folhas dos relatórios foram marcadas com faixas verde e amarela, correspondentes ao Conjunto 1 e ao Conjunto 2, respectivamente, que também estão marcadas com tiras das mesmas cores (Figura 5.61). Fotos foram transmitidas à Terra diariamente, sendo disponibilizadas no sítio eletrônico www.las.inpe.br/microg/.

Se você deseja obter mais informações a respeito do experimento da Germinação de sementes de feijão, consulte o sítio www.las.inpe.br/microg/. Lá você também encontrará informações sobre o experimento Cromatografia da clorofila.

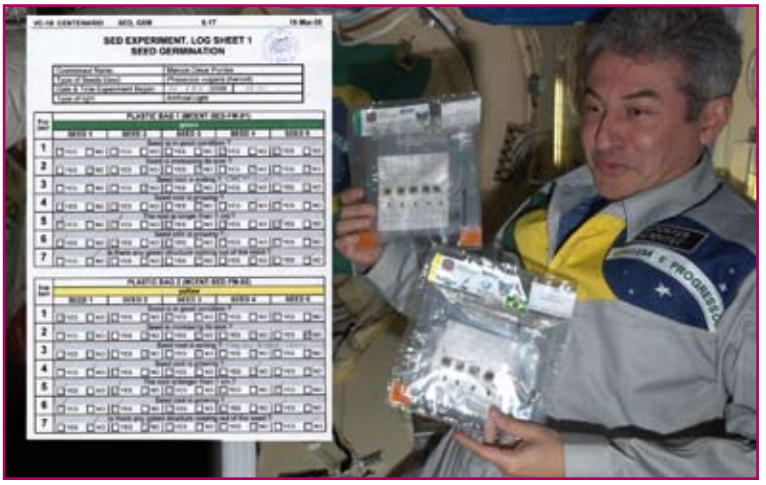


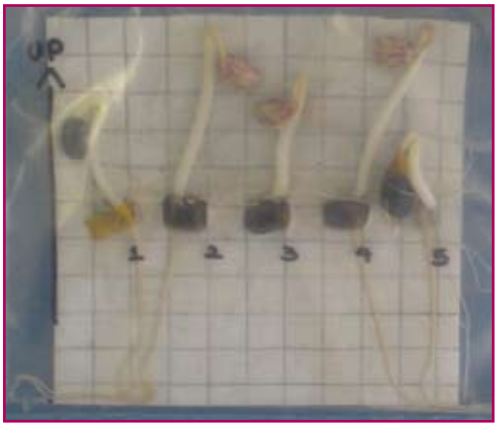
Foto tirada à bordo da ISS.

Figura 5.61. Marcos Pontes a bordo da ISS com os Conjuntos 1 e 2.

O que foi feito nas escolas

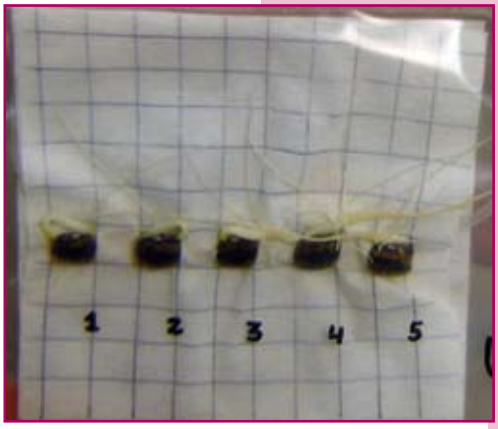
Simultaneamente à realização dos experimentos na ISS, estudantes e professores da Rede Municipal de São José dos Campos desenvolveram os experimentos em Terra, comparando-os com os realizados por Marcos Pontes. Em Terra, observou-se que, numa semente recém-germinada, a raiz apresentou geotropismo positivo, enquanto o crescimento do caule se deu em sentido oposto, apresentando geotropismo negativo (Figura 5.62A).

A bordo da ISS, não se verificou qualquer sentido preferencial de crescimento das raízes (Figura 5.62B). No geral, observou-se que, possivelmente, os estágios iniciais de germinação não foram comprometidos pelas condições de microgravidade. Porém, verificou-se que na ISS o desenvolvimento das plântulas foi menor do que nas escolas, não chegando nem a ocorrer a emissão de folhas primárias. Tal comportamento pode estar relacionado aos diferentes tipos de estresses aos quais as sementes germinadas na ISS foram submetidas.



Sérgio Henrique Ferreira Ramos.

Figura 5.62A Resultado dos experimentos realizados em Terra, Conjunto 2.



Marcos Cesar Pontes.

Figura 5.62B Resultado dos experimentos realizados na ISS, Conjunto 2.

Com relação à presença ou não de luminosidade, observou-se que este fator não interfere de forma significativa na fase inicial do processo de germinação.



Elisa M. K. Farinha Saeta.

Figura 5.63. Estudante avalia o crescimento das plantas de feijão germinadas no espaço.

Ao retornar à Terra, o astronauta trouxe o cartão de memória com as fotos, bem como as sementes germinadas. Ao receberem as sementes, em 12 de abril de 2006, os alunos as plantaram e acompanharam o seu desenvolvimento (Figura 5.63).

Os professores que realizarem o experimento poderão comparar esses resultados com os obtidos por seus alunos.

Possíveis desdobramentos

Pode-se ainda mudar as condições de luminosidade, disponibilidade de água e de duração do experimento para avaliar as alterações que o processo de germinação sofre. Esses novos resultados ajudarão os alunos a perceberem como as variações climáticas e/ou ambientais podem influenciar na produção de alimentos.

CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL

Texto adaptado do livro: Nasa. Estação Espacial – planos de aulas de Ciências e Matemática para atividades práticas de pré à 8ª série. Traduzido pela Univap – São José dos Campos: Univap, 2002; e Agência Espacial Européia (ESA). Kit Educativo ISS. Guia do Professor, 2004. Colaboração: Petrônio Noronha de Souza (Inpe).

Apresentação

A Estação Espacial Internacional, nave tripulada utilizada para exploração, estudo, manufatura e experimentação em ambiente de microgravidade, é um equipamento muito complicado e tem muitas partes.

A tripulação da ISS mora em um módulo adaptado para a realização das atividades básicas requeridas para sua sobrevivência. Este módulo é projetado para que os astronautas cozinhem, comam, lavem louças, faxinem, durmam, tomem banho, façam exercícios, relaxem etc.

A cozinha é a parte do módulo que engloba a preparação de alimentos e a realização das refeições. Os armários da cozinha têm geladeira, forno e um local para jogar lixo. Na parede oposta à área de refeições, está um banheiro com vaso sanitário e um chuveiro. Outros armários armazenam roupas e louças. Para dormir, os astronautas acoplam seus sacos de dormir em uma parede



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.64. Estação Espacial Internacional (ISS).



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura 5.65. Interior da Estação Espacial Internacional (ISS).

dos armários que funcionam como alojamento, para que eles não fiquem flutuando enquanto dormem.

A água é um recurso limitado e caro a bordo da ISS. Isto acontece devido à inexistência de abastecimento contínuo, tendo de ser levada da Terra para a ISS. Pode ser transportada por diversos lançadores, ou fornecida pelo Ônibus Espacial, no qual a água é produzida quando suas células de combustível combinam oxigênio e hidrogênio para gerar eletricidade, formando água como subproduto.

O sistema de suporte à vida a bordo da ISS foi concebido para reciclar o máximo de água possível (até mesmo a urina e a umidade do ar da cabine). Para minimizar o consumo de água, o seu uso deve ser o mais eficiente possível. Por exemplo, uma ducha na Terra consome cerca de 50 litros, mas um astronauta deve usar menos de 4 litros para a higiene pessoal e não pode exceder 10 litros de consumo total por dia.

Um astronauta consome aproximadamente 2,7 litros de água por dia por meio dos alimentos e das bebidas. A maior parte desta água é expelida novamente pelo corpo, seja no estado líquido (por intermédio da urina ou da transpiração) ou na forma de vapor (por meio dos poros ou da respiração). Se o vapor de água eliminado pelos corpos não fosse removido do ar, a estação pareceria em pouco tempo uma sauna, e os astronautas teriam dificuldades para respirar.

O sistema de suporte à vida da ISS possui diversas funções: deve manter o ar da cabine limpo (filtrar partículas e microrganismos), fornecer o nível apropriado de gases, regular a pressão do ar e manter a temperatura adequada. O sistema de suporte à vida da ISS também controla a umidade – se o nível for muito elevado, recolherá o excesso de vapor de água.

Para saber como isso acontece, imaginemos um dia frio e uma pessoa de óculos entrando em um local quente. O que acontece com os óculos? Eles embaçam-se imediatamente. Este ‘vapor’ corresponde a uma camada de finas gotículas que se depositam sobre os óculos.

O princípio da recuperação de água a bordo da ISS é bastante similar: o ar úmido quente é soprado sobre uma superfície fria, onde se formam gotículas Mas, como no interior da ISS não há gravidade, o que significa que as gotas de água não são mais pesadas do que o ar e não escorrem pela superfície para serem colhidas embaixo, a solução é fazer "girar a superfície". A rotação conduzirá as gotas para o exterior da superfície, onde poderão ser recolhidas. Também podem ser utilizadas superfícies com revestimentos hidrofílicos (revestimentos que absorvem a água) em conjunto com sugadores (pequenos orifícios dotados de tubos de aspiração na parte de trás). O revestimento hidrofílico permite que a água permaneça "colada" à superfície e os sugadores aspirem a água da superfície.

Depois que a água condensada é recolhida, esta deve ser purificada por meio da eliminação de bactérias, íons e moléculas indesejáveis. Isto é indispensável para a saúde da tripulação.

Nessa atividade, os alunos são convidados a viver dois dias como os astronautas na estação espacial, isto é, vão exercitar a realização de tarefas que utilizem água com um mínimo de consumo possível, além de pensar em alternativas de reaproveitamento da água existente.

Objetivos

1. Medir seu consumo diário de água.
2. Fazer um plano para usar o mínimo possível de água para beber, cozinhar, tomar banho e para dar descarga no vaso sanitário, como se estivesse em uma estação espacial.

Sugestão de problematização

Qual a menor quantidade de água que você pode usar em um dia e ainda assim ficar saudável? Qual a menor quantidade de água que você consegue usar para beber, cozinhar, tomar banho e dar descarga no vaso sanitário?

Materiais

- 6 garrafões transparentes, de água, de 20 litros cada um

  Na falta de garrafões, utilizar um vasilhame que indique o volume, de tal modo que os alunos possam identificar quanta água foi utilizada.
- 1 xícara de chá para medida
- 2 folhas de papel para os registros de conservação de água (Modelos 1 e 2)
- 1 roteiro de perguntas para registro das conclusões dos alunos (Modelo 3)
- 1 plano de conservação de água para um dia (Modelo 4)



Rogério Castro (AEB/Progrma AEB Escola).

Figura 5.66. Alguns usos cotidianos da água.

Procedimentos

1. Fazer um levantamento do consumo de água dos alunos e suas famílias nos últimos três meses por meio da conta de água. Para conhecer o consumo médio de água dos equipamentos domésticos: banheiro, chuveiro, pia da cozinha e do banheiro etc., pode-se consultar algum técnico em hidráulica, vendedores de lojas de materiais de construção que trabalham com materiais hidráulicos, ou, ainda, procurar o órgão ou pessoa responsável pela distribuição de água no município.
2. Os alunos devem conseguir estimar, pelo menos, o volume de água usado em cada descarga dada no banheiro e a média de consumo de água do chuveiro.

3. Depois, os alunos, e também o professor, devem registrar quanto cada um gasta de água durante uma semana em atividades rotineiras. Para isso, será necessário trabalhar previamente com os alunos o sistema de medidas para volume e padronizar algumas medidas que serão usadas, como copo, xícara etc. O grupo pode organizar uma planilha comum que servirá para os registros.

4. Segue uma sugestão de roteiro para o levantamento da quantidade consumida de água:

   a. Meça a quantidade de água cada vez que você beber.

   b. Registre na planilha a quantidade de água que você bebeu.

   c. Cuidadosamente, meça a quantidade de água usada na preparação da comida que você come. Registre a quantidade a cada nova refeição.

   d. Descubra o volume do reservatório de água do vaso sanitário de sua casa. Registre essa quantidade a cada vez que apertar a descarga.

   e. Estime o volume de água que usa no chuveiro. Registre essa quantidade a cada vez que tomar um banho.

5. Depois de coletadas todas essas informações, a turma e o professor farão um plano para que cada um use menos água durante dois dias.

6. Escrever o plano na folha chamada "Meu Plano de conservação de água" (Modelo 4). Para esta tarefa, sugerimos algumas dicas:

   a. Encha 6 garrafões de água. Planeje utilizar primeiro essa água. Dica: cada garrafão corresponde a "X" xícaras.

   b. Certifique-se de tomar, no mínimo, 8 copos de água por dia, porque a água é necessária para manter todos os sistemas de seu corpo em perfeita saúde. Essa quantidade de água não deve ser alterada.

c. Planeje alimentar-se com alimentos que não requeiram muita água em seu preparo. Se escolher comer frutas frescas, lembre-se de que os astronautas só as terão durante as duas primeiras semanas após a chegada de uma nave de reabastecimento, o que não ocorre com muita freqüência, isto porque as frutas estragam.

7. Meça as quantidades e preencha o "Registro de conservação de água – 1º dia" (Modelo 1) e depois o "Registro de conservação de água – 2º dia" (Modelo 2).

8. Registre no Modelo 3 as conclusões e comentários.

9. Depois, os alunos vão apresentar os registros e discutir suas conclusões.

10. Com base no plano de conservação de água, discutir as questões que desencadearam a atividade, bem como outras ligadas ao plano e às conclusões do grupo. É importante ajudar os alunos a chegarem às suas próprias conclusões, incluindo, se necessário, pesquisas e outras atividades complementares.

a. Quando as pessoas permanecem em órbita por 90 dias ou mais na estação espacial, elas precisam levar alimentos que não necessitem de muita água para o preparo. Descreva alguns alimentos que você poderá levar e diga por que os escolheu?

b. Nesta atividade, planejamos levar água para beber, cozinhar, tomar banho e dar a descarga no vaso sanitário, mas a água é necessária para outras atividades diárias também. Em órbita, a bordo da estação espacial, quais outras atividades necessitam de água.

c. A água tem muitas utilidades, mas quando ela não é suficiente para todas as atividades, é preciso decidir quais são as mais importantes. Se você precisasse economizar água na estação e, conseqüentemente, tivesse de abrir mão de uma atividade, qual você escolheria? Por quê?

Orientações complementares

Modelo 1

Registro de conservação de água – 1º dia

Data_____

VOLUMES DE ÁGUA USADOS EM 24 HORAS				
	Beber	Cozinhar	Tomar banho	Vaso sanitário
1				
2				
3				
4				
5				
6				
Total				

1º dia

Quantidade total: _____

Modelo 2

Registro de conservação de água – 2º dia

Data_____

VOLUMES DE ÁGUA USADOS EM 24 HORAS				
	Beber	Cozinhar	Tomar banho	Vaso sanitário
1				
2				
3				
4				
5				
6				
Total				

2º dia

Quantidade total: _____

Modelo 3

Conclusões

a. Qual o volume de água que você usou no primeiro dia?

b. Qual o volume de água que você usou no segundo dia?

c. Quais atividades requerem uma quantidade maior de água?

d. Faça uma lista das maneiras como você pode conservar água.

Modelo 4

Meu Plano de conservação de água

Eu,_____ vou conservar água usando-a com critério. Planejarei as seguintes atividades para que eu possa usar menos água: _____

Plano de água para beber

Plano de cozimento de alimentos

Plano de banho

Plano para uso do vaso sanitário

Para mais informações e atividades sobre a ISS, consulte:

Nasa. **Estação espacial: planos de aulas de ciências e matemática para atividades de pré a 8ª série.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2002.

Nasa. **Alimentação e nutrição no espaço: manual do professor com atividades de ciências e matemática.** Traduzido pela Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: Univap, 2001.

As publicações citadas acima estão disponíveis para *download* em http://www.aeroespacial.org.br/ educacao/livros.php/.

Possíveis desdobramentos

Professor/a, a idéia aqui, além de compreender como os astronautas vivem com pouca água no espaço, é, também, despertar a consciência dos alunos para gastarem menos água e preservarem a água existente na Terra.

Discuta com seus alunos a importância do consumo diário de uma quantidade mínima de água para o bom funcionamento dos órgãos e sistemas do corpo, bem como da preservação de uma pele saudável. Atualmente, existem diferentes correntes científicas quanto à quantidade de água que cada pessoa deve ingerir diariamente, mas todas são unânimes em afirmar que é necessário beber água para manter o equilíbrio de um corpo formado por 2/3 de água.

Como você faria para ajudar os alunos a mudarem seu comportamento em relação ao consumo e ao desperdício de água no seu dia-a-dia? Seria possível, também, fazer uma campanha sobre este assunto na escola e com as famílias?

O TRABALHO NO ESPAÇO E OS DESAFIOS DE MOVIMENTAÇÃO EM UM AMBIENTE DE MICROGRAVIDADE

Norma Teresinha Oliveira Reis (MEC), Nilson Marcos Dias Garcia (UTFPR) e Pedro Sergio Baldessar (UTFPR).

Apresentação

O espaço exterior se encontra além das camadas mais altas da atmosfera terrestre. Apesar de nele predominar o vácuo, pode ser concebido como um ambiente, no qual a radiação e os corpos celestes transitam livremente.

É, no entanto, por diversas razões, um ambiente inóspito para a vida humana. Uma pessoa desprovida de traje espacial exposta ao ambiente extra-atmosférico morreria rapidamente.

A principal característica do espaço exterior é a quase ausência de moléculas. A densidade em tal ambiente é tão baixa que pode ser considerada praticamente desprezível.

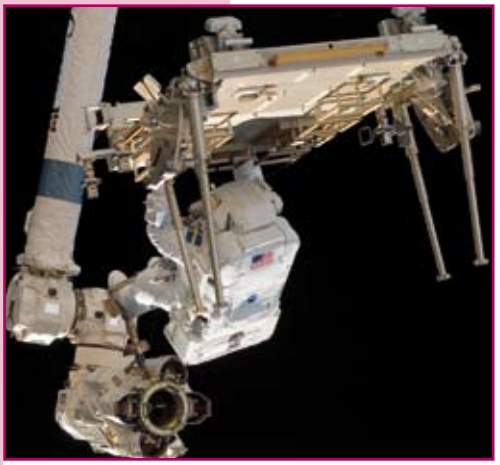
Na Terra, a atmosfera exerce pressão em todas as direções. Ao nível do mar, essa pressão está próxima de 101320 Pa (o Pascal é a unidade de pressão no Sistema Internacional de Unidades e corresponde à pressão resultante da aplicação de uma força de l Newton sobre uma área de 1 metro quadrado). No espaço, a pressão é praticamente nula. Dessa forma, se considerarmos um ser humano no espaço exterior desprovido de traje espacial, seus pulmões estariam desprotegidos, de modo que o ar em seu interior se dissiparia rapidamente no vácuo e os gases dissolvidos nos fluidos do corpo se expandiriam, separando sólidos e líquidos. A pele iria se inflar como um balão. Bolhas iriam se formar na corrente sanguínea, de modo que o sangue não seria

capaz de transportar oxigênio e nutrientes para as células do corpo. Ao mesmo tempo, uma ausência súbita de pressão externa equilibrando a pressão interna de gases e fluidos do corpo iria romper tecidos frágeis, tais como os tímpanos e os capilares. O efeito final no corpo seria a expansão, a danificação de tecidos e uma privação de oxigênio para o cérebro que ocasionaria perda de consciência em um intervalo de tempo menor que 15 segundos.

A variação de temperatura encontrada no espaço exterior é, talvez, o principal obstáculo para os seres humanos explorarem-no. No espaço, a uma distância equivalente à distância Terra-Sol, o lado dos objetos iluminado pelo Sol pode atingir uma temperatura de até 120°C, enquanto o lado de sombra pode atingir até -100°C. A manutenção de uma variação confortável de temperatura torna-se um desafio significativo.

Outras propriedades do espaço exterior incluem a aparente ausência de peso, a radiação eletromagnética não filtrada pela atmosfera (como a ultravioleta) e a existência dos meteoróides. Estes últimos consistem em pedaços muito pequenos de rocha e metal oriundos da formação do Sistema Solar a partir da colisão de cometas e asteróides. Apesar de serem usualmente pequenos em massa, eles viajam a uma velocidade muito elevada e podem facilmente penetrar na pele humana e no metal espesso. Igualmente perigoso é o lixo espacial oriundo de missões espaciais anteriores. Uma pequena lasca de tinta, viajando a milhares de quilômetros por hora, pode ocasionar dano substancial.

No espaço, assim como na Terra, são válidos os princípios de conservação de energia e de quantidade de movimento. A despeito do peso de um objeto na superfície da Terra, quando em órbita, um único tripulante pode movê-lo e posicioná-lo com facilidade, desde que trabalhe a partir de uma plataforma estável que apresente inércia suficiente para lhe fornecer o apoio necessário para a execução da tarefa. Por outro lado, a aparente imponderabilidade pode dificultar as atividades dos astronautas, dependendo da inércia do apoio ao qual ele se vincula.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura. 5.67. Astronauta trabalhando no espaço.



Nasa. http://www.nasa.gov/

Figura. 5.68. Astronauta usando uma ferramenta no espaço.

Assim, se apoiado na nave espacial – de grande massa –, ele pode efetuar tarefas que não conseguiria na Terra, por causa das forças de atrito entre os objetos envolvidos. Entretanto, se não estiver apoiado em uma plataforma estável e de inércia razoáveis, tal qual um ônibus espacial, empurrar um objeto faz com que o objeto e o tripulante flutuem em sentidos contrários.

Dessa forma, considerando que nem sempre o astronauta, em suas atividades, está apoiado na nave espacial, tarefas simples, tais como manusear uma ferramenta ou empurrar um copo, no espaço, podem se tornar extremamente complicadas, uma vez que tanto a ferramenta quanto o copo, assim como o astronauta – fato às vezes indesejado –, movimentam-se de uma forma pouco natural para quem está habituado às tarefas que sempre se realizam na superfície terrestre. Por exemplo, se um astronauta se apoiar em um pequeno objeto para lançar à distância uma ferramenta, ele e o pequeno objeto se afastarão do centro de massa do sistema ferramenta-astronauta/pequeno objeto. Mas, relativamente ao pequeno objeto, ele permanecerá em repouso e poderá até mesmo julgar que não se moveu (é claro que ele sentirá uma pequena aceleração, mas, se o pequeno objeto for trocado pelo ônibus espacial, ele não perceberá a aceleração astronauta/ônibus espacial).

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

Atividade 1 – Trabalhando no espaço

Objetivos

1. Vivenciar o Princípio da Ação e Reação.
2. Estabelecer uma conexão deste princípio com as atividades realizadas por astronautas no espaço.

Sugestão de problematização

De que maneira os astronautas conseguem realizar tarefas no espaço sideral, em um ambiente de aparente ausência de gravidade? Como eles se movimentam e se deslocam no espaço sem ter uma plataforma de apoio? Que dificuldades eles encontram na realização de suas tarefas, tanto no interior quanto no exterior da nave espacial?

Materiais

- 1 cadeira giratória sem encosto e com rodinhas
  A cadeira giratória é uma cadeira com rodinhas, normalmente utilizada em escritórios, da qual se remove o encosto.
- 2 massas, de dois quilogramas cada uma
  As duas massas de dois quilogramas podem ser conseguidas colocando-se, em um saco plástico de supermercado, dois quilogramas de farinha, açúcar, feijão ou outro material qualquer, cuja massa possa ser facilmente determinada. Esse saco deve ser amarrado e, em seguida, colocado em um segundo saco de supermercado, que também deve ser amarrado, de forma que possa ser confortavelmente seguro pelas alças. Havendo necessidade, pode-se reforçar esse dispositivo colocando-o em um terceiro saco de supermercado.

Procedimentos

Observação: Professor/a permaneça próximo/a do aluno que estiver em movimento, para evitar quedas ou colisões com outros alunos.

1. Solicite aos alunos que posicionem suas cadeiras em círculo. As carteiras também devem ser afastadas, de modo a deixar um espaço livre no centro da sala.



Edson Luiz Fragoso.

Figura 5.69. Professora orienta aluno a tentar se deslocar usando a cadeira giratória.



Edson Luiz Fragoso.

Figura 5.70. Professora orienta aluna a tentar se deslocar com o auxílio das massas.

2. Posicione a cadeira giratória com o encosto removido no centro do círculo formado pelos alunos. É importante que o piso da sala onde vai se desenvolver a atividade permita o livre movimento da cadeira.
3. Solicite a um aluno que se sente na cadeira e tente deslocar-se pela sala usando apenas o movimento de seu corpo, sem tocar com os pés no chão, sem apoiar-se com as mãos na parede ou em algum colega.
4. Assegure que todos os alunos experimentem essa movimentação sem nenhum material auxiliar.
5. Convide os alunos novamente para se sentarem na cadeira giratória e tentar se deslocar, mas segurando as massas de dois quilogramas.
6. Sugira que, para tentar se deslocar, eles façam movimentos com os braços segurando as massas, uma em cada mão.
7. Peça que eles observem, nessa situação, ou seja, segurando as massas, que tipo de movimento dos braços facilita ou dificulta o deslocamento da cadeira: movimentar ambos os braços para trás, ao mesmo tempo; mover um braço para frente, enquanto o outro vai para trás; mover os braços contornando o corpo, ou seja, um passando pela frente do corpo e outro passando pelas costas etc. Insista para que os alunos tentem esses movimentos diversas vezes, pois na prática só se conseguem bons resultados após algumas tentativas variadas.

8. Solicite que os alunos apresentem os resultados de suas tentativas, identificando os deslocamentos produzidos na cadeira pelas diferentes formas de movimento dos braços.
9. Promova um debate sobre as hipóteses que os alunos têm para explicar os resultados. Para auxiliar o grupo, o professor pode lançar perguntas orientadoras, como, por exemplo:
   a. Em que situação foi mais fácil se deslocar na cadeira, com ou sem o auxílio das massas? Explicar a resposta.
   b. O deslocamento na cadeira ocorre sempre da mesma forma ou varia de acordo com o tipo de movimento promovido pelos braços?
   c. Quando o movimento dos braços (segurando as massas) é para os lados, um de cada vez ou alternadamente, como a cadeira se locomove?
   d. E quando é para frente e para trás?
   e. O que explica essas diferenças?
10. Durante e após o experimento, os alunos devem relacionar o que aconteceu em sala de aula com o que ocorre com os astronautas que se locomovem e trabalham no espaço. É importante que eles compreendam que, devido à aparente ausência de peso, os astronautas têm dificuldade de se locomover e de obter o movimento desejado, pois, em alguns casos, não possuem uma plataforma estável sobre a qual se apoiar – essa plataforma pode ser uma nave espacial ou outro dispositivo.

    Para se movimentar, os astronautas precisam executar determinados movimentos com o corpo ou empurrar adequadamente algo, de modo a se deslocarem na direção e sentido desejados, da mesma forma como os alunos fizeram com o movimento do corpo ou com o movimento dos braços, segurando as massas, para se deslocarem com a cadeira giratória. Se o astronauta empurrar um objeto com muita força, por exemplo, pode se deslocar para além do desejado ou de forma muito rápida.

Nota: Se a turma for muito numerosa e se houver mais de uma cadeira giratória e espaço físico adequado, pode-se sugerir que os alunos se reúnam em equipes, de modo que cada uma delas forme um círculo, mantendo uma cadeira giratória em seu centro para a realização do experimento. Nessa situação, sugere-se que o professor circule pela sala de modo a orientar as etapas de realização do experimento pelas equipes. Então, após terem experimentado as diversas possibilidades de movimentação com e sem o uso das massas, cada equipe poderá eleger um ou mais representantes que fariam a descrição das percepções e constatações obtidas durante a sua realização. Isso conduzirá a um rico universo de comparações de percepções acerca da tarefa.

Orientações complementares

Uma das características do ambiente espacial é a aparente ausência de peso a que ficam submetidos tanto a nave espacial quanto os corpos e astronautas que ela transporta.

Essa aparente ausência de peso pode ser explicada pelo fato de que, como, rigorosamente, nós não temos "sensores" que nos permitam avaliar a força peso, ela é por nós percebida por meio dos esforços internos a que ficamos submetidos nas nossas diversas atividades cotidianas.

Exemplificando, podemos nos imaginar em pé esperando um ônibus. O campo gravitacional da Terra impõe uma força, denominada peso, a todas as partículas constituintes do nosso corpo. Como estamos em repouso, apoiados numa superfície resistente, nós não afundamos em sentido ao centro da Terra, mas nosso corpo é comprimido, o que faz surgir um esforço interno de compressão igual ao nosso peso e que nos confere uma aceleração resultante nula. Temos então a percepção dessa compressão, que vale tanto quanto o nosso peso, fazendo-nos parecer senti-lo.

Imaginemo-nos agora no interior de um elevador que está aumentando a sua velocidade durante uma ascensão. Nesse caso, ficamos mais comprimidos do que quando estávamos no ponto

de ônibus. Nosso peso não mudou, mas, estando mais comprimidos que antes, parece que ele aumentou. A esta sensação, associada a um esforço interno despertado por uma deformação, é que chamamos de "peso aparente".

Dessa forma, estando um indivíduo a se movimentar sob a ação apenas de seu próprio peso (sem nenhum esforço interno), ele sentirá um "peso nulo". Tal acontece durante uma queda livre ou durante uma trajetória como a descrita pelos projéteis ou em qualquer órbita descrita pelos veículos espaciais.

Na Terra, para levantar ou movimentar um corpo, uma pessoa deve estar com os pés apoiados no chão firme e deve vencer a força de atração gravitacional que atua sobre o corpo para realizar essas tarefas. No espaço, devido à sensação de imponderabilidade, os corpos podem ser movimentados com facilidade, mas o astronauta deve dispor de um apoio que lhe ofereça resistência suficiente para vencer a inércia do corpo a ser movimentado.

Também na superfície da Terra, caixotes apoiados uns sobre os outros apresentam forças de atrito causadas por compressões de suas superfícies de contato, que devem ser vencidas para que eles possam ser movimentados uns relativamente aos outros. No ambiente de um veículo espacial, estes mesmos caixotes não se comprimem e a força de atrito não precisa ser vencida para movê-los. Claro que a sua inércia não mudará, mas, devido à quase ausência da força de atrito, é bastante fácil empurrá-los no ambiente espacial.

Possíveis desdobramentos

O Princípio da Ação e Reação pode ser um pouco mais explorado, experimentando ou discutindo com a turma situações do cotidiano em que se pode verificar esse princípio, como, por exemplo:

- Quando enchemos balões de látex (balões de aniversário) e os soltamos sem prender o ar, é possível observar que o balão e o ar se deslocam na mesma direção, porém em sentidos opostos.

Espera-se que os alunos compreendam que, assim como o ar empurra o balão, o balão também empurra o ar com uma força de mesma intensidade, mesma direção, porém de sentido contrário.

- Quando pulamos no chão firme, sentimos que a Terra reage à força que exercemos sobre ela, pois nosso corpo sente uma força (que é de mesmo valor que aquela exercida quando batemos nossos pés na Terra) em sentido oposto.

Que tal organizar uma pesquisa para que os alunos identifiquem outras situações do dia-a-dia em que eles consigam perceber o Princípio de Ação e Reação?

E que tal buscar ou orientar os alunos a pesquisar na Internet sobre a locomoção e o trabalho dos astronautas no espaço, em páginas eletrônicas de agências espaciais como a Agência Espacial Brasileira (www.aeb.gov.br/) e Nasa (www.nasa.gov/)?

Você também pode assistir com os alunos a filmes que mostrem o trabalho de astronautas no espaço, como o filme "Apollo 13" ou "2001, uma odisséia no espaço".

Atividade 2 – Problemas de movimentação em um ambiente de microgravidade

Referencial teórico

Sistema Isolado e Não-Isolado. Quantidade de Movimento

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Em termos algébricos, designando

Q = quantidade de movimento

m = massa do corpo

v = velocidade do corpo

a quantidade de movimento será dada pela expressão:

$$Q = m.v$$

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

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

b. um aluno de massa 40 kg sentado numa cadeira de rodinhas que está se deslocando da frente da sala para o fundo,

com velocidade de 5 m/s (equivalente a 18 km/h), tem quantidade de movimento:

$$Q = m.v$$

$$Q = 40.5$$

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

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

Objetivo

Verificar o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.

Sugestão de problematização

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

Materiais

- 2 cadeiras giratórias com rodinhas ou dois *skates*
- 1 cronômetro
- 1 régua ou trena

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

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

Procedimentos

Alguns dias antes da realização do experimento, professor/a solicite aos alunos que verifiquem seu "peso" em uma farmácia, por exemplo, e anotem o valor indicado pela balança.

Usando a cadeira giratória



Nilson Garcia.

Figura 5.71. Alunos formando um sistema.



Nilson Garcia.

Figura 5.72. Alunos empurrando um ao outro.

1. Deve ser escolhida uma área da sala que tenha o piso mais regular e liso possível. Essa área deve ficar livre de mesas, cadeiras e carteiras. Caso seja impossível na sala de aula, o professor deve procurar um local da escola em que o piso seja o mais liso possível.
2. Nessa área, trace com giz, no chão, uma linha que servirá de referência para o movimento das cadeiras.
3. Dois alunos devem se sentar nas cadeiras com rodinhas sem colocar os pés no chão e ficar um de frente para o outro. Esse conjunto de alunos mais cadeiras vai constituir o que será denominado sistema.
4. Os alunos devem encostar suas mãos e empurrar um ao outro.
5. Deve ser medido o afastamento de cada uma das cadeiras em relação à linha de referência traçada no chão.

Usando o *skate*

1. Todas as providências anteriores com relação à definição e condições do piso da sala devem também ser tomadas.
2. Com relação ao *skate*, por razões de segurança, os alunos ficam sentados nele. Quando sentados, há mais segurança no desenvolvimento do experimento, principalmente no que se refere a evitar eventuais quedas.
3. Os alunos devem também encostar suas mãos e se empurrar ao mesmo tempo.
4. Deve ser medido o afastamento de cada um dos *skates* em relação à linha de referência traçada no chão pelo professor.

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

Calculando a Quantidade de Movimento de cada aluno

Rigorosamente, no experimento que vamos propor, não há conservação da quantidade de movimento, pois o sistema não é totalmente isolado, por existirem forças externas atuando sobre ele, mesmo que minimizadas ao possível, tal como o atrito das rodinhas das cadeiras com o chão.

Para efeitos didáticos, entretanto, vamos desconsiderar essas forças e propor uma seqüência de atividades que possibilita entender como essas questões podem ser tratadas no espaço, onde as interações ocorrem em um ambiente sem tais limitações.

Para verificar se houve conservação de quantidade de movimento no experimento, há necessidade do cálculo da quantidade de movimento do sistema antes e depois do empurrão.

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

$$Q_{antes}=m_{cadeira + aluno1} .velocidade_{aluno\ 1\ antes} + m_{cadeira + aluno2} . velocidade_{aluno2\ antes}$$

A quantidade de movimento do sistema depois do empurrão é:

$$Q_{depois}= m_{cadeira + aluno1} velocidade_{aluno\ depois} + m_{cadeira + aluno2} .velocidade_{aluno\ 2\ depois}$$

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

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

$$m_{cadeira}\ (\text{ou}\ m_{skate})$$

$$m_{aluno\ 1}$$

$$m_{aluno\ 2}$$

$$velocidade_{aluno\ 1\ antes}$$

$$velocidade_{aluno\ 1\ depois}$$

$$velocidade_{aluno\ 2\ antes}$$

$$velocidade_{aluno\ 2\ depois}$$

Cálculo da Quantidade de Movimento antes da interação

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

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

$$Q_{antes}= m_{cadeira + aluno1} .velocidade_{aluno\ 1\ antes} + m_{cadeira + aluno2} . velocidade_{aluno2\ antes}$$

$$Q_{antes} = (5 + 40) . 0 + (5 + 50) . 0$$

$$Q_{antes} = 0$$

Cálculo da Quantidade de Movimento depois da interação

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

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

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

$$0 = (5 + 40) \,.\, \text{velocidade}_{\text{aluno 1 depois}} + (5 + 50) \,.\, \text{velocidade}_{\text{aluno 2 depois}}$$

isso permite concluir que:

$$(5 + 40) \,.\, \text{velocidade}_{\text{aluno 1 depois}} = (5 + 50) \,.\, (-\text{velocidade}_{\text{aluno 2 depois}})$$

$$45 \,.\, \text{velocidade}_{\text{aluno 1 depois}} = 55 \,.\, (-\text{velocidade}_{\text{aluno 2 depois}})$$

onde o sinal de (-) antes de $\text{velocidade}_{\text{aluno 2 depois}}$ indica que a velocidade do aluno 2, após o empurrão, é de sentido oposto à do aluno 1.

Dificuldade na determinação da velocidade dos alunos

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

É importante observar que o movimento descrito pelos alunos não é uniforme, pois inicialmente a cadeira está em repouso e, com o empurrão, ela se acelera, adquire uma certa velocidade e, em seguida, em função do atrito com o chão, vai-se desacelerando até voltar ao repouso. Realiza, portanto, um movimento uniformemente variado, o que introduz algumas dificuldades concretas na determinação da velocidade.

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

$$45 \,.\, \text{velocidade}_{\text{aluno 1 depois}} = 55 \,.\, (-\text{velocidade}_{\text{aluno 2 depois}})$$

Se o resultado do primeiro termo da equação for próximo do resultado do segundo, podemos inferir que o Princípio da Conservação

da Quantidade de Movimento é válido. Observe que dificilmente os resultados serão iguais, pois há muitos fatores (existência de atrito, piso irregular, dificuldade na medida do deslocamento etc.) que não foram levados em consideração e que influenciam bastante no resultado. Mas a expectativa é de que os resultados sejam próximos.

Uma alternativa à medida da velocidade

Considerando a dificuldade de obtenção dos valores das velocidades no experimento, apresenta-se uma alternativa que facilitará as medidas e cujo resultado ajudará a atingir o objetivo, qual seja, verificar o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento.

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

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

Sabemos também que, após o empurrão inicial, cada participante sofre uma desaceleração, devida pela sempre existente força de atrito entre as rodinhas da cadeira e o piso. Podemos admitir que, sendo as cadeiras iguais, as forças de atrito serão proporcionais às reações de apoio entre elas e o piso, o que nos permite deduzir que as forças de atrito são, então, proporcionais às massas de cada conjunto aluno/cadeira. Dessa forma, podemos deduzir que ambos ficam sujeitos a uma mesma desaceleração constante e podemos, considerando a conhecida

"equação de Torricelli" ($v^2 = v_0^2 - 2.a.\Delta x$), extrair uma expressão que reflete de maneira satisfatória o que está ocorrendo, ou seja:

$$v2 = 2.a.\Delta x$$

mostrando-nos que as velocidades iniciais de cada um dos participantes estão em proporção direta com as raízes quadradas de cada deslocamento correspondente, ou

$$v_0 \text{ é proporcional a } \sqrt{\Delta x},$$

Dessa maneira, em vez de determinarmos as velocidades dos alunos após o empurrão, mediremos os seus respectivos deslocamentos (o deslocamento também é uma grandeza vetorial) e esse valor numérico é que será usado para verificar se o Princípio de Conservação é atendido.

A nossa expressão de cálculo será, então:

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

$$0 = (5 + 40) \,.\, \sqrt{(\text{deslocamento}_{\text{aluno1 depois}})} + (5 + 50) \,.\, \sqrt{(\text{deslocamento}_{\text{aluno2 depois}})}$$

$$0 = 45 \,.\, \sqrt{(\text{deslocamento}_{\text{aluno1 depois}})} + 55 \,.\, \sqrt{(\text{deslocamento}_{\text{aluno2 depois}})}$$

$$45 \,.\, \sqrt{(\text{deslocamento}_{\text{aluno1 depois}})} = 55 \,.\, \sqrt{(\text{-deslocamento}_{\text{aluno2 depois}})}$$

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

Repetir para obter bons resultados

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

trocando de cadeiras. Dessa forma, haverá uma distribuição dos eventuais problemas que sejam devidos a uma das cadeiras.

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

Se você determinou o tempo e a velocidade, use esta tabela:

N	$m_{cadeira}$	m_{aluno1}	$v_{aluno1\ antes}$	m_{aluno2}	$v_{aluno2\ antes}$	$v_{aluno1\ depois}$	$v_{aluno2\ depois}$	Q_{antes}	Q_{antes}	Q
1										
2										
3										
4										

Se você determinou o deslocamento, use esta outra:

N	$m_{cadeira}$	m_{aluno1}	$\sqrt{(d_{aluno1})}_{antes}$	m_{aluno2}	$\sqrt{(d_{aluno2})}_{antes}$	$\sqrt{(d_{aluno1})}_{depois}$	$\sqrt{(d_{aluno2})}_{depois}$	Q_{antes}	Q_{antes}	ΔQ
1										
2										
3										
4										

Questões

1. Quando os alunos foram à farmácia se "pesar", eles determinaram seu peso ou sua massa? Qual a diferença entre um e outro?
2. No ambiente em que os astronautas exercem suas tarefas, o peso deles não se manifesta como acontece na superfície da Terra. Parece que não têm peso nenhum! Seria possível medir o peso de um astronauta nesses ambientes? Empurrar um astronauta neste ambiente é equivalente a empurrar uma pena?
3. Qual dos experimentos dá o melhor resultado: aqueles realizados com cadeiras ou aqueles realizados com *skates*? Que fatores influenciam o resultado?

4. Quando um astronauta empurra um objeto dentro da nave espacial, existe conservação da quantidade de movimento entre eles?

5. Quando um aluno de massa 40 kg empurra outro de massa 50 kg, qual deles se afastará com velocidade maior? E qual deles adquirirá maior quantidade de movimento após o empurrão?

Possíveis desdobramentos

Professor/a você pode mostrar um experimento com um "balão" de borracha cheio de ar, mantido, pelos dedos, preso a um corpo plástico de caneta esferográfica, que deve servir de guia em um barbante esticado entre dois pontos da sala de aula. Liberando o ar, o conjunto vai à frente e o ar que escapa, à ré. Discutir com seus alunos que, para se ir à frente, alguma coisa deve ir para trás.

Os aviões, jatos ou não, para irem à frente, lançam ar (junto ou não com o produto da combustão) para trás. Para nadar, o nadador empurra para trás a água. Um automóvel empurra o planeta Terra para trás para ir para frente! Uma estrada com pedrinhas soltas mostra, na arrancada do veículo, este fato. Uma pessoa anda para frente pelo mesmo motivo.

Poderá discutir, ainda, a movimentação das pessoas em um hipotético ambiente em que o atrito deve ir, pouco a pouco, sendo reduzido até deixar de existir. Depois de bem abordado este caso, você poderá pedir aos seus alunos para imaginarem um ambiente de microgravidade (ausência aparente de campo gravitacional). Neste local, onde não existem as forças normais de reação ao peso dos corpos que se apóiam no chão da nave espacial, não existirão as forças de atrito oriundas da ação entre o peso e a correspondente reação de apoio e, portanto, a movimentação como se dá na Terra não pode ser realizada. Lançar algo para trás movimenta um ocupante para frente. Mesmo apoiando-se em um dispositivo

preso às paredes da nave, o empurrão dado no apoio leva a nave para trás e o ocupante da nave vai à frente. Se uma câmara de TV presa à nave registrar o evento, a nave não parecerá se mover pelo simples fato de que ela move-se solidariamente com a nave. Assim, o professor estabelecerá com os alunos a conexão espacial do experimento realizado.

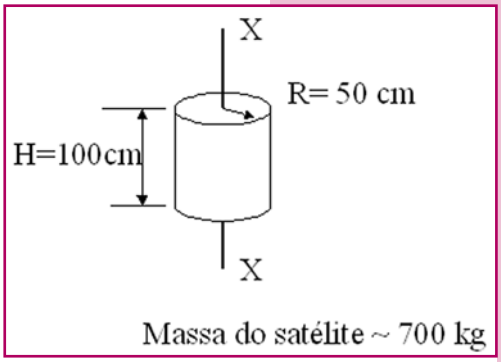
Essas discussões podem ser conduzidas antes da atividade proposta neste texto, como motivadoras, ou posteriormente, para analisar, a partir dos resultados obtidos, as limitações em se movimentar em um ambiente de atrito nulo ou de microgravidade.

DESAFIOS

PARTE I

José Leonardo Ferreira (UnB) e Luiz Bevilacqua (UFABC).

1. Você é um engenheiro de uma empresa SATPRO que projeta e fabrica satélites. A empresa que fabrica os lançadores (foguetes) comunica à SATPRO que só é capaz de injetar em órbita o satélite que sua empresa está projetando com uma rotação de 50 rotações por minuto (50 RPM) em torno do eixo X-X. A instrumentação embarcada no satélite requer, no entanto, uma rotação de apenas 10 RPM. Como você resolve este problema da maneira mais econômica possível? Outra empresa, PROSAT, soube do problema e também está na concorrência para resolver a questão.



Luiz Bevilacqua (UFABC)

Figura 5.73.

Resposta: Uma das possíveis soluções é uma roda de ação (pode ser com aproximadamente 7 kg), que começa a girar (no mesmo sentido de rotação do satélite) quando o sistema Satélite-Roda estiver com 50 RPM. Admitindo que a distribuição das massas sejam iguais no satélite e na roda, a relação entre os momentos de inércia seria Is/Ir = 100.

Usando a conservação do Momento Angular, chegamos à expressão: (Is/Ir)(Wsf - Wsi) = Wr = 100x40 = 4.000 RPM.

2. Em Brasília, principalmente no inverno, vemos um belíssimo céu azul. No pôr-do-Sol, outro espetáculo, o céu adquire tons variados de vermelho que até inspiraram compositores como Djavan e Caetano Veloso. Qual a explicação para estes fenômenos?

PARTE II

Questões de várias edições da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA). As respostas estão no sítio da OBA: www.oba.org.br/.

1. (IX OBA, 2006 – Ensino Médio). O movimento que os veículos espaciais descrevem em torno da Terra é governado pelas mesmas leis que regem o movimento dos planetas em torno do Sol. As bases dessas leis foram descobertas por alguns dos mais importantes cientistas que já existiram. Isaac Newton (1642-1727) formulou a Lei da Gravitação Universal, segundo a qual a força de atração entre dois corpos é diretamente proporcional às suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separam. Para formular essa lei, ele se baseou em três importantes leis da mecânica celeste, que foram anteriormente formuladas pelo astrônomo Kepler (1571-1630). Kepler, por sua vez, formulou suas leis para explicar as observações feitas por Tycho Brahe (1546-1601), astrônomo que fez o maior catálogo de observações dos astros celestes da época. As três leis de Kepler são enunciadas da seguinte forma:

   i. Todo planeta descreve órbita elíptica ao redor do Sol, estando este num dos focos da elipse.

   ii. A linha que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em iguais intervalos de tempo.

   iii. A razão entre o quadrado do período da órbita e o cubo da distância entre os centros dos corpos envolvidos é uma constante.

   Com base na terceira Lei de Kepler, é possível relacionar o período de uma órbita circular com o seu raio. Ou seja, é possível relacionar o tempo que leva o planeta para dar uma volta em torno do Sol com a distância entre os centros do Sol e do planeta. Aplicando essa mesma lei para a órbita da

Estação Espacial Internacional (ISS) em torno da Terra, é possível construir a tabela mostrada ao lado, que relaciona o período orbital com o raio de uma órbita circular.

Período e raio de órbitas circulares da Estação Espacial Internacional	
Período (segundos)	Raio da órbita circular (km)
5.248	6.527
5.369	6.627
5.491	6.727
5.614	6.827
5.738	6.927
5.862	7.027
5.988	7.127

A ISS gira em torno da Terra numa órbita circular de raio igual a 6.727 km, ou seja, a 350 km acima da superfície terrestre. Esse dado foi utilizado para a programação da missão espacial para a qual foi escalado o primeiro astronauta brasileiro a ir ao espaço. Pelos planos iniciais, Marcos Pontes foi lançado ao espaço a bordo de uma nave russa em 29 de março de 2006. De acordo com a missão, ele deveria entrar a bordo da ISS às 04 horas e 13 minutos (horário de Greenwich) do dia 01 de abril de 2006, e deveria permanecer na ISS até as 17 horas e 12 minutos do dia 08 de abril de 2006 (também horário de Greenwich). Se esses dados forem confirmados, calcule e responda às questões abaixo.

3a. Quantas horas e minutos o astronauta brasileiro Pontes permaneceu no espaço a bordo da ISS?

3b. Qual é o período orbital da ISS, em horas e minutos, quando o raio da sua órbita é aquele dado no parágrafo acima?

3c. Quantas voltas o astronauta brasileiro deu em torno da Terra ao completar sua missão a bordo da ISS?

2. (VIII OBA, 2005 – 5º ao 9º ano). Os satélites de sensoriamento remoto são também chamados de satélites de observação da Terra. Em conjunto com os chineses, os cientistas brasileiros do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) desenvolveram o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, conhecido como Cbers. Por meio das imagens fornecidas pelo Cbers, pode-se construir mapas das cidades e verificar a poluição dos rios, lagos e oceanos. Para captar imagens, os sensores a bordo do Cbers ficam sempre apontados para a Terra.

2a. As imagens geradas a partir de satélites de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para a confecção de diversos tipos de mapas. Uma característica fundamental para se definir a utilização de um mapa é a escala em que ele foi desenhado. A escala determina a proporção entre as dimensões reais de um objeto e as dimensões com que o mesmo é representado no mapa. Assim, por exemplo, se uma ponte mede 100 m e aparece em um mapa medindo 1 m, dizemos que a escala deste mapa é de 1/100. Sabendo-se que neste mapa o comprimento de uma rua é de 0,5 m, o comprimento real desta rua é de:

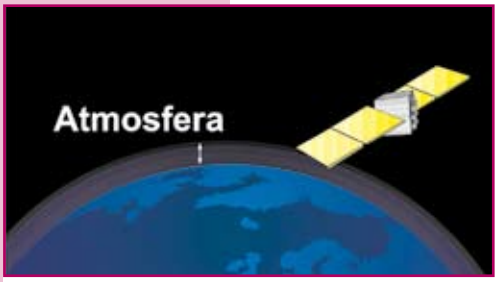
a) 5 m b) 50 m c) 500 m

d) 5.000 m e) 50.000 m

2b. O Distrito Federal, cuja capital é Brasília, pode ser geometricamente representado por um retângulo cujos lados são aproximadamente iguais a 50 km e 100 km. Suponha que o Governo do Distrito Federal contrate você para desenhar um mapa do Distrito Federal. Considerando-se que o mapa será impresso no tamanho 5 cm x 10 cm em uma folha de papel, qual seria a escala mais adequada para representar o Distrito Federal, fazendo o melhor uso possível dessa folha?

a) 1/100 b) 1/1.000 c) 1/10.000
d) 1/100.000 e) 1/1.000.000

3. (VIII OBA, 2005 – 5º ao 9º ano). Para efeitos práticos, admite-se que a atmosfera terrestre tenha uma espessura de 100 km.



Acervo OBA. www.oba.org.br/

Figura 5.74. Atmosfera terrestre.

Acima dessa altitude, pode-se considerar a existência de vácuo, ou seja, a ausência de matéria. Se a Terra fosse uma laranja, a espessura da atmosfera seria equivalente à espessura da sua casca.

A atmosfera terrestre é constituída principalmente de nitrogênio e oxigênio. Em menor quantidade, o ozônio, o dióxido

de carbono e o vapor d´água também se fazem presentes. O ozônio filtra parte da radiação solar ultravioleta. No entanto, por causa de uma diminuição da quantidade de ozônio (provocada por poluição atmosférica) e excesso de exposição ao Sol, estima-se que a radiação solar ultravioleta será responsável por mais de cem mil casos de câncer de pele no Brasil em 2005. Portanto, apesar de fina, quando comparada ao raio da Terra (6.378 km), é esta "frágil" camada que permite a preservação da vida na Terra.

Para a conclusão da montagem da Estação Espacial Internacional (ISS), a qual o Brasil ajuda a construir, que orbita a 350 km acima da superfície da Terra, será necessário que alguns astronautas saiam da estação para efetuar o que se chama atividade extraveicular.

Considerando estes fatos, assinale, dentre as alternativas abaixo, quais são verdadeiras (V) e quais são falsas (F):

a) ( ) Tendo em vista que estará executando atividade física fora da ISS, é de se supor que o astronauta transpire e se sinta cansado. Nessa situação, nada impede que ele remova o capacete para tomar um "ar fresco".

b) ( ) Como o som não se propaga no vácuo, astronautas executando atividade extraveicular devem fazer uso de dispositivos especiais para se comunicarem.

c) ( ) Devido à falta de filtragem da radiação solar ultravioleta pela atmosfera, os astronautas em atividade extraveicular devem usar capacete com visor especial, que filtre e reflita a radiação solar nociva.



SALA DE PESQUISA

Artigos e livros

CARLEIAL, A. B. **Uma breve história da Conquista Espacial.** In: Parcerias Estratégicas. Brasília: Centro de Estudos Estratégicos (CEE), N. 7, P. 21-30, outubro de 1999.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FONSECA, I. M. **O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,** Inpe e o Programa Espacial Brasileiro. In: Souza, P. N.; Fonseca, I. M. AEB ESCOLA – Programa de formação continuada de professores. São José dos Campos: Inpe, 2004. (INPE – 12213-PUD/165)

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1989, 308p.

SANTANA, C. E., COELHO, J. R. B. O Projeto Cbers de Satélites de Observação da Terra. In: **Parcerias Estratégicas.** Brasília: Centro de Estudos Estratégicos, n 7, p. 203-210, out. 1999.

SOUZA, P. N **Curso Introdutório em Tecnologia de Satélites (CITS)**. São José dos Campos: Inpe, abril de 2003. (INPE – 9605-PUD/ 167)

STEFFEN, A. C., Moraes E. C. **Introdução à radiometria.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VII. Curitiba, 10-14. Maio, 1993. Tutorial. São José dos Campos: Inpe, 1993. 7p.

CD-ROM

DIAS, N. W.; BATISTA, G; NOVO, E. M. M.; MAUSEL, P. W.; KRUG, T: Sensoriamento remoto: aplicações para a preservação,

conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2003. 1 CD-ROM educacional. Disponível em: www.ltid.inpe.br/cdrom/. Acesso em: 22 mar 2006.

Sítios

Sítio da Embrapa com imagens de satélite de todos os estados brasileiros. http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/

Sítio da Divisão de Geração de Imagens do Inpe
http://www.dgi/inpe/br/

Earth Observatory –
http://earthobservatory.nasa.gov/newsroom/newimages/images_index/

Our Earth as Art – http://landsat.gsfc.nasa.gov/earthsart/

Earth from Space – http://eol.jsc.nasa.gov/sseop/efs/

The gateway to Astronaut Photography of Earth
http://eol.jsc.nasa.gov/sseop/

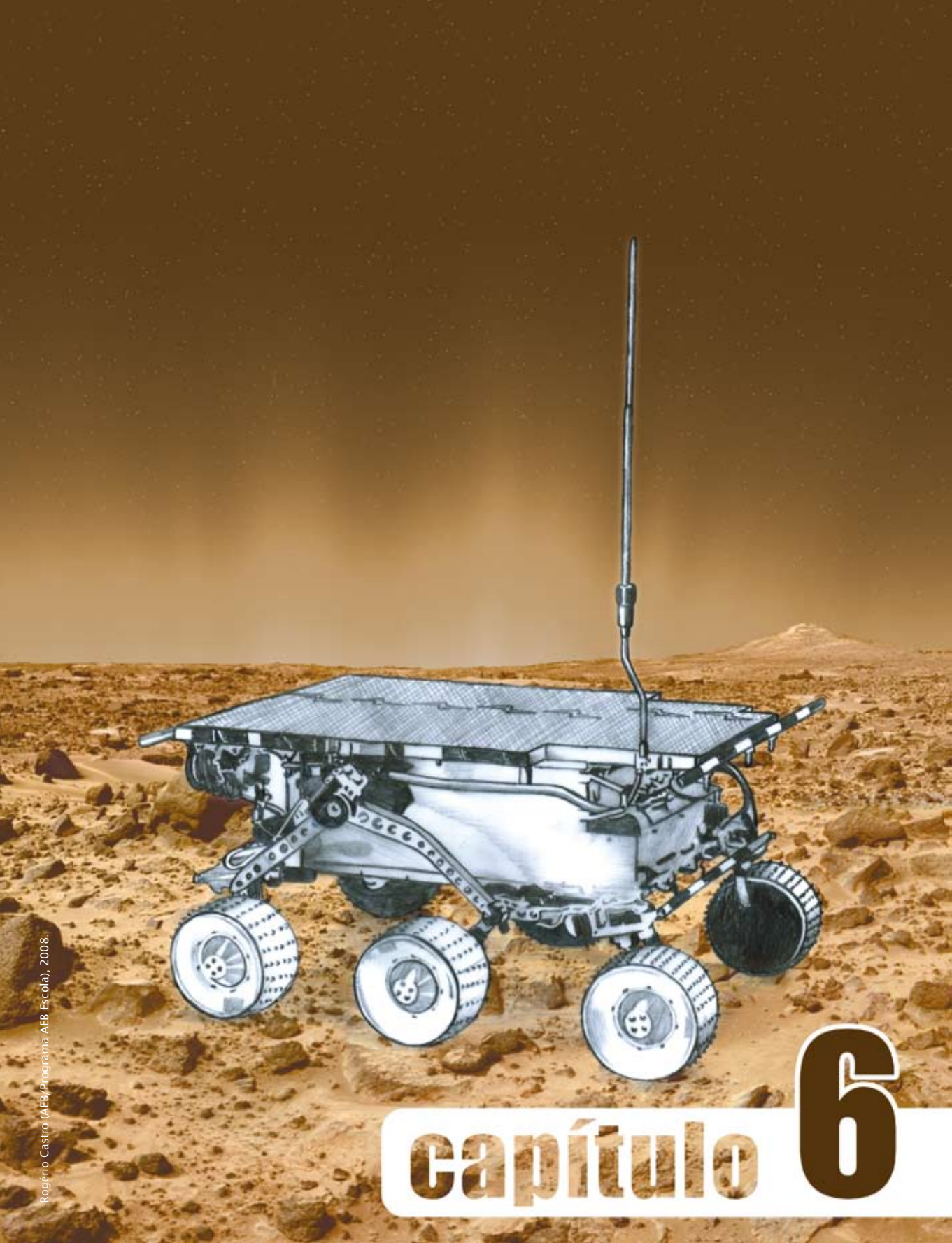
Visible Earth – Nasa – http://www.visibleearth.nasa.gov/

UFRGS -
http://www.sct.rs.gov.br/programas/mosaico/index.htm/

SAUSEN, T. M. Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais.
http://www.herbario.com.br/fotomicrografia07/senso_aplic_rec_natur.htm/

Galeria de fotos – Solo
http://www.inpe.br/programas/mecb/Port/fotos/solo.htm/

Estrutura Mecânica
http://www.laser.inpe.br/equars/estruturamec.shtml/



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola), 2008.

capítulo 6

NOVAS FRONTEIRAS

Salvador Nogueira

Imaginação é uma qualidade essencial a qualquer cientista. Essa habilidade – que permite fazer uma ponte entre fatos aparentemente desconexos – é o berço da maioria das grandes descobertas. Entretanto, imaginação demais, sobretudo delineada pela vontade de acreditar em determinadas idéias a despeito das evidências, pode levar a equívocos monumentais.

Foi sobre esse terreno frágil que se alicerçaram os estudos de um dos mais influentes astrônomos do final do século 19, início do século 20 – o americano Percival Lowell. Tudo começou quando ele tomou conhecimento dos trabalhos de um colega italiano, Giovanni Schiaparelli (1835-1910). Imediatamente após saber deles, Lowell decidiu investir parte de sua fortuna na construção de um observatório em Flagstaff, Arizona, dedicado, sobretudo, aos estudos do planeta Marte.

E, pouco depois de ter feito suas primeiras observações, em 1895, Lowell tinha conclusões estonteantes a apresentar. Com seu primeiro livro sobre o assunto, *Mars* [Marte], nascia a lenda dos famosos canais marcianos. Ele escreveu:

> A primeira pista que o mundo teve de sua existência foi quando Schiaparelli viu algumas das linhas em 1877, agora 18 anos atrás. O mundo, entretanto, estava tudo menos preparado para a revelação, e, quando ele anunciou o que havia visto, prontamente decidiram desacreditá-lo. Schiparelli teve o infortúnio de estar à frente de seu tempo, e infortúnio ainda maior de permanecer

Percival Lowell *(1855-1916), magnata americano que decidiu investir sua fortuna nas pesquisas astronômicas. Seu legado foram as especulações sobre os canais de Marte e a busca por um planeta "X", além de Netuno. Ambas se mostraram perda de tempo, mas Lowell, graças a elas, popularizou como nunca a astronomia.*

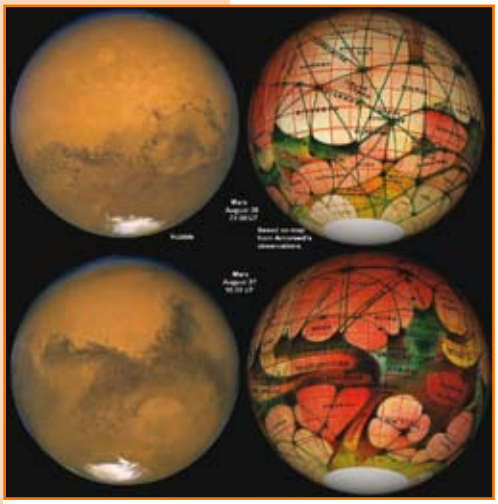


Figura 6.1. O astrônomo americano Percival Lowell.

The Internet Encyclopedia of Science.
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/LowellP.html

> assim; pois não só ninguém mais viu as linhas naquela oposição [ocasião que ocorre a cada 18 meses, em média, favorecendo a observação de Marte da Terra], como ninguém conseguiu fazê-lo nas subseqüentes. Por muitos anos o destino permitiu que Schiaparelli as tivesse todas para si mesmo, uma confiança que ele amplamente retribuiu. Enquanto outros duvidavam, ele foi de descoberta em descoberta. O que ele havia visto em 1877 não era tão intrigante, em vista do que viu depois. Suas primeiras observações poderiam bem ter sido de simples estuários, longas rachaduras naturais correndo sobre os continentes, assim cortando-os em dois. Suas observações posteriores eram muito peculiares para serem explicadas mesmo por uma configuração tão improvável assim da superfície marciana. Em 1879, os *canali*, como ele os chamou (canais naturais ou construídos, a palavra pode ser assim traduzida, e é no segundo sentido que ele hoje as considera), mostraram-se mais retos, e ele distinguiu mais deles. Finalmente, perto do fim do ano, Schiaparelli observou, numa noite, o que o chocou como um fenômeno muito intrigante, a duplicação de um dos canais: dois canais paralelos subitamente apareceram onde apenas um havia sido visto antes. O paralelismo era tão perfeito que suspeitou de ilusão de óptica. Não pôde, entretanto, constatar nenhuma ao mudar seus telescópios ou lentes oculares. O fenômeno, aparentemente, era real. (LOWELL, 1985, pp.77-79).

Numa narrativa envolvente, o astrônomo americano preparava o terreno para apresentar sua hipótese extraordinária: a de que esses canais extensos, que segundo ele recortavam o planeta de cima a baixo, estavam sendo construídos por uma civilização marciana avançada, que tentava sobreviver em meio a um violento processo de desertificação de seu mundo.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.2. Comparação de Marte fotografado pelo Telescópio Espacial Hubble e "mapeado" por Percival Lowell, no início do século 20. Note que os canais se misturam a traços reais da superfície marciana.

A audácia de Lowell gerou enorme conflito na comunidade científica. Em primeiro lugar, nem todo mundo conseguia ver os tais canais (que, no fim das contas, acabaram sendo refutados como meras ilusões de óptica). Mas o mais difícil mesmo era aceitar essa quantidade de pressupostos, sem base observacional, que levavam o americano a decretar a existência de uma civilização marciana.

A despeito disso, o gênio estava fora da garrafa. Com o sucesso das idéias de Lowell, sobretudo entre os populares, surgiu um sem-número de publicações de ficção científica baseadas na premissa, a começar por "A Guerra dos Mundos" [*The War of the Worlds*], do escritor inglês H.G. Wells, de 1898. No livro, o romancista leva adiante a premissa de Lowell – confrontados pela escassez de recursos em Marte, os marcianos decidem invadir e pilhar a Terra (o tema foi adaptado várias vezes para o cinema, mais recentemente por Steven Spielberg, em 2005).

Tão crível quanto a teoria de Lowell era a ficção de Wells. Tanto que, em 1938, ou seja, quarenta anos após a publicação original do livro, o radialista americano Orson Welles causou pânico nos Estados Unidos ao simular a dita invasão numa transmissão de rádio, como um "especial" de comemoração do *Halloween*, o dia das bruxas. Milhões de pessoas não ouviram os alertas de que se tratava de uma ficção, acreditaram ser verdade o que ouviam. Houve quem cometesse suicídio.

Entre os cientistas, a idéia não estava em alta. Lowell já havia sido refutado por grandes pesquisadores, seus contemporâneos – o mais célebre deles, Alfred Russel Wallace (1823-1913), naturalista britânico co-descobridor da evolução das espécies pela seleção natural, independentemente do também britânico Charles Darwin (os trabalhos dos dois a esse respeito foram publicados simultaneamente, em 1858).

Para derrubar a premissa lowelliana, Wallace escreveu um livro chamado *Is Mars Habitable?* [Marte é habitável?], em 1907. Lá, o naturalista britânico pela primeira vez colocou as especulações a respeito do planeta vermelho sobre bases sólidas, indicando que todas as evidências observáveis e experimentais apontavam para um Marte frio e seco, com muito menos radiação solar do que a disponível na Terra para aquecer sua superfície. Também apontou que a baixa pressão atmosférica não permitiria a manutenção de água em estado líquido e que não havia sinais de vapor d'água na atmosfera marciana. Encerrou a discussão:

> A conclusão dessas três provas independentes, que se impõem umas às outras como fatores múltiplos com seus respectivos pesos, é, portanto, irresistível: vida animal, especialmente em suas formas mais desenvoltas, não pode existir no planeta. Marte, portanto, é não só desabitado por seres inteligentes como os que o Sr. Lowell postula, mas é totalmente INABITÁVEL. (WALLACE, 1907. p.110).

Nos círculos populares, a discussão durou até a Era Espacial, quando sondas foram a Marte e demonstraram que Wallace estava certo, e Lowell, errado. Mas o que unia todos esses homens? Fosse na análise implacável do naturalista britânico ou na narrativa espetaculosa do astrônomo americano, a discussão na verdade tinha apenas um foco: a água.



Astrobiólogos: especialistas da astrobiologia, ciência que estuda as origens e a prevalência da vida no Universo.

De fato, é o que une os **astrobiólogos** até hoje. Com uma compreensão tão tênue do que é a vida (e, ainda assim, baseada apenas nos exemplos conhecidos, todos terrestres), o único denominador comum que eles puderam encontrar para a busca de seres vivos fora da Terra era a presença de água, em estado líquido e em abundância.

Faz sentido. Afinal, nós, seres humanos, somos 65% compostos por água (outras criaturas chegam a taxas maiores). E é a composição singular da água que permite a reação de diversas moléculas orgânicas responsáveis pelos processos vitais. Talvez exista uma maneira de haver vida sem água, mas até hoje ninguém conseguiu imaginar como.

Tomando por base essa premissa, as primeiras décadas da Era Espacial foram um balde de gelo para os entusiastas da vida extraterrestre. Marte era frio demais; Vênus era quente demais. Nenhum dos dois parecia ter condições para abrigar água líquida e, por conseqüência, criaturas vivas. Quanto aos demais planetas, estavam longe demais da chamada Zona Habitável para serem considerados seriamente. Tudo parecia se encaminhar para uma solidão terrestre no quesito vida, ao menos no Sistema Solar. Mas as coisas começaram a mudar nos anos 1990, graças a duas revoluções – uma ocorrida na Terra e outra nas profundezas do espaço.

VIDA EM TODO LUGAR AQUI

Durante a maior parte da história registrada da biologia como ciência, os estudiosos acreditaram que a chamada "biosfera" (conjunto de regiões da Terra onde existem todas as criaturas vivas) recobria apenas uma camada muito fina do planeta. Segundo esse preceito, nada que estivesse a muitos quilômetros de altitude, em meio à rarefeita alta atmosfera terrestre, ou a uma profundeza de muitos quilômetros, sob o leito dos oceanos, poderia sobreviver a essa experiência.

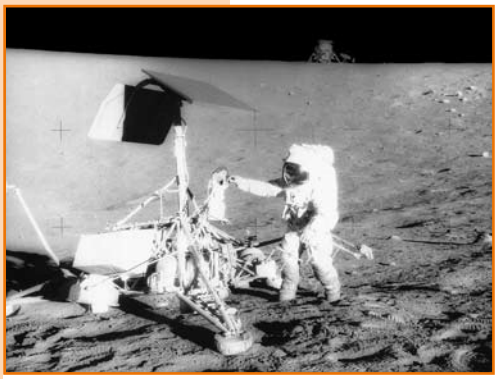
Um experimento acidental que começou a demonstrar, neste caso, a falta de imaginação dos cientistas para pensar o impensável aconteceu graças ao Projeto Apollo, que levou seres humanos à superfície da Lua. Uma das principais metas da segunda missão a descer no solo lunar, a Apollo 12, era demonstrar a possibilidade de realizar uma alunissagem de precisão. Para isso, o comandante da missão, Pete Conrad, tinha de conduzir o módulo lunar o mais perto que conseguisse da sonda Surveyor 13, uma das várias naves não-tripuladas que pavimentaram o caminho para as missões humanas nos anos 1960.

Com sua precisão de piloto de caça, Conrad fez um excelente trabalho e deixou sua nave a menos de 300 metros da Surveyor 13. Passou então a fazer parte de sua missão ir até ela e recuperar algumas das peças, para que elas fossem reexaminadas em terra, depois de passarem um longo período de tempo expostas ao vácuo do espaço (nunca é demais lembrar que a Lua não possui atmosfera).

Os resultados, contudo, acabaram sendo muito mais recompensadores. Quando os cientistas foram analisar partes da câmera da Surveyor 13 trazidas de volta ao planeta, descobriram uma colônia de bactérias, viva e bem! Elas embarcaram por acidente na nave não-tripulada e passaram uma temporada de férias nada aprazível de um ano e meio na Lua antes de serem trazidas de volta para casa. Entraram num estado de "hibernação" (diz-se que elas se transformam em **esporos**) e retornaram à vida assim que as condições externas melhoraram. O achado extraordinário acabou se tornando a principal marca da missão, levando



Esporos: em biologia, chamam-se esporos as unidades de reprodução das plantas. São também denominados esporos as formas latentes de muitos animais ou seus embriões, de protistas e de bactérias.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.3. Pete Conrad, fotografado por Alan Bean, recolhe peças da sonda Surveyor 3, durante a missão Apollo 12, em novembro de 1969.

Pete Conrad a declarar, após a volta, que sempre achara que a coisa mais importante que eles haviam trazido da Lua eram aquelas bactérias. O fato realça bem como a exploração espacial é um empreendimento tão envolto no desconhecido que normalmente seus maiores benefícios são aqueles que não se podem prever de antemão.

Claro, como um experimento não-controlado e não-planejado, ele ainda carece de verificação contundente (há quem diga que a contaminação bacteriana aconteceu após o retorno à Terra, o que teria eliminado das bactérias a desagradável e inadvertida tarefa de sobreviver na Lua por mais de um ano). Ainda assim, os resultados pareciam sugerir que a vida podia ser mais resistente do que antes se pensava.

E a sensação foi se tornando uma certeza ao longo dos anos, até que, na década de 1990, surgiu uma verdadeira explosão de estudos sobre uma nova categoria de criaturas vivas: os extremófilos. Não é difícil entender de onde eles ganharam esse nome. O sufixo "filo" diz respeito a "apreciação", e o prefixo "extremo", a "condições extremas". Ou seja, são as criaturas que apreciam condições extremas.

A cada dia, os biólogos avançam mais aqui na Terra no estudo desses seres – e sempre são surpreendidos pela incrível capacidade de adaptação das formas de vida. É só ir a um lugar e coletar uma amostra onde eles supunham ser impossível a existência de qualquer organismo para vê-lo fervilhando com vida. Normalmente, essas criaturas são microbianas – o que faz supor que talvez exista uma barreira para que os extremófilos atinjam formas muito desenvoltas –, mas alguma vida é bem melhor que nenhuma vida.

Os cientistas já tropeçaram em criaturas que vivem nas fossas abissais dos oceanos, onde nenhuma luz do Sol pode chegar, ou entrincheirados nas profundezas da Terra, bombardeados pelo calor

interno do planeta, mas isolados do mundo exterior. Organismos já foram coletados na alta atmosfera, e há os que resistem incrivelmente à radiação e às mais extraordinárias variações de pressão. Ou seja, aqui na Terra há vida para todos os gostos, e nosso mundo está fervilhando de organismos, muito mais do que se supunha até hoje. Desnecessário dizer que apenas uma ínfima fração dessas criaturas foi catalogada.



Duane Moser/*Desert Research Institute.*

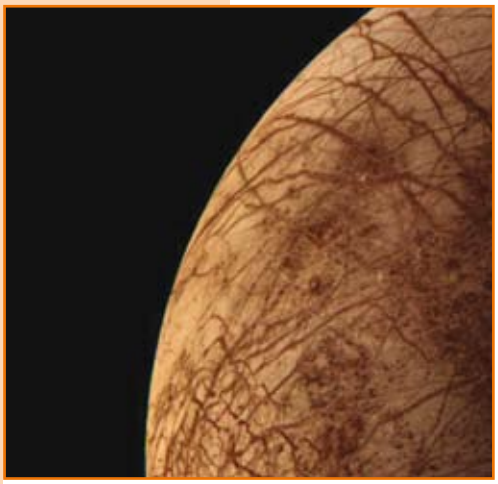
Figura 6.4. Poço de uma mina com 2.850 metros de profundidade na África do Sul, onde cientistas encontraram em 2006 formas de vida que vivem isoladas lá há milhões de anos.

Isso ressuscitou as esperanças de que a vida tenha conseguido se adaptar mesmo em mundos aparentemente inabitáveis, como Marte e Vênus. No primeiro, sabe-se que o subsolo possui gelo de água, que, ocasionalmente, pode se tornar líquido. No segundo, a alta atmosfera possui temperatura amena e, embora a química não favoreça formas de vida como as terrestres, é concebível que outras categorias, mais exóticas, possam existir.

Mas a grande surpresa mesmo foi a demonstração de que, mesmo na Terra, existem algumas formas de vida que não dependem do Sol – vivem nas entranhas do planeta, indiferentes ao que se passa do lado de fora. Com isso, as buscas por vida podem se libertar dos grilhões da Zona Habitável e sondar outros objetos celestes – contanto que eles possuam alguma outra forma de energia disponível para alimentar o metabolismo dessas criaturas. É onde entram as grandes descobertas feitas lá fora a partir das missões americanas Voyager.

VIDA FORA DA ZONA HABITÁVEL?

Em 1979, as duas Voyager passaram por Júpiter, em sua longa jornada rumo às fronteiras externas do Sistema Solar. A primeira delas passou tão depressa e num ângulo tão desfavorável que pouco permitiu a observação dos principais satélites jovianos. Mas a Voyager 2 conseguiu obter algumas boas



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.5. Imagem da superfície de Europa obtida pela Voyager 2.

imagens de Europa, uma das luas geladas descobertas por Galileu em 1610.

Os cientistas esperavam encontrar um mundo frio, velho e esburacado, como costumam ser as luas (inclusive a nossa). Qual não foi a surpresa deles quando as primeiras imagens de Europa começaram a preencher os telões no Laboratório de Propulsão a Jato (JPL) da Nasa, em Pasadena, na Califórnia, e uma superfície completamente diferente da esperada se revelou diante dos seus olhos. A maioria dos pesquisadores ficou pasma. O primeiro a reagir foi o astrônomo Carl Sagan. "Percival Lowell estava certo!", ele disse. "Só que os canais estavam em Europa!".

Brincadeiras à parte (Europa não tem canais), a superfície relativamente recente e toda riscada daquela lua sugeria processos até então não considerados seriamente pelos cientistas. Em vez de um mundo velho e morto, eles encontraram um corpo celeste com processos dinâmicos e recentes – uma superfície que denunciava coisas muito mais interessantes sob a superfície de gelo daquela lua.

Foi preciso esperar quase duas décadas para desvendar o mistério. Ele começou a se render quando a sonda Galileo visitou o sistema joviano. Diferentemente das Voyagers, que estiveram em Júpiter só de passagem, a Galileo foi lá para ficar – passou alguns anos em órbita ao redor do maior planeta do Sistema Solar, estudando aquele mundo gigante e suas luas fascinantes.

Sobrevôos mais constantes sobre Europa ajudaram a estabelecer hipóteses mais consistentes sobre o que está ocorrendo naquela lua. Hoje, os cientistas têm quase certeza de que, sob uma espessa camada de gelo superficial, esconde-se em Europa um oceano global de alguns quilômetros de profundidade. E esse oceano seria composto de água salgada!

Mas como é possível? Europa está bem longe da Zona Habitável. Girando ao redor de Júpiter, sua temperatura na superfície é de mais de uma centena de graus Celsius abaixo de zero. Água, ali, se manifesta como rocha sólida. E se o Sol está tão distante, de onde vem a energia para criar um oceano líquido sob a superfície? A chave para decifrar o mistério é a gravidade de Júpiter, e um efeito bem conhecido na Terra: as marés.

A gravidade exercida pela Lua sobre nosso planeta é capaz de movimentar as águas (e, de forma quase imperceptível, as massas de terra) para lá e para cá. A mesma coisa, só que muito mais intensa, ocorre no interior de Europa, conforme aquela lua gira em torno de Júpiter. Como o planeta gigante tem muito mais massa que a Terra ou a Lua, o efeito de maré que ele provoca em Europa é mais intenso do que qualquer coisa que tenhamos visto por aqui. Esse bamboleio para lá e para cá, que literalmente sacode o interior europano, faz com que a água ganhe energia suficiente para se liquefazer e se manter nesse estado.

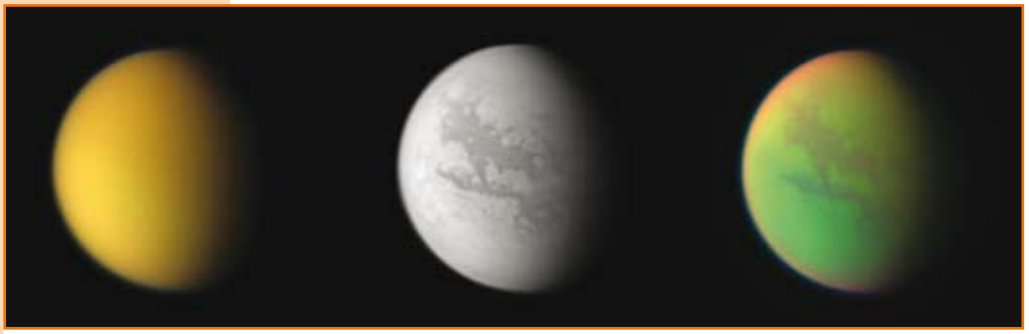
Mais do que isso, a dinâmica da lua claramente envolve o constante congelamento e derretimento de massas de água, o que explicaria os traços relativamente recentes na superfície congelada.

O pensamento convencional dos astrobiólogos é o de que o elemento essencial à vida é a água. Será que, sob a superfície congelada de Europa, existem seres vivos habitando seu oceano interno? Se a versatilidade das formas de vida na Terra servir como termômetro, a única resposta possível é: sim. Afinal de contas, os estudos com extremófilos têm mostrado que há, aqui mesmo, criaturas vivas capazes de sobreviver sem a energia solar – vivendo somente do que o interior terrestre fornece.

Resultados mais controversos que os de Europa sugerem que outras duas luas de Júpiter, Calisto e Ganimedes, talvez também tenham oceanos de água sob suas superfícies de gelo. Moral da história: somente ao redor de Júpiter podemos ter três mundos com condições que, talvez, sejam mais favoráveis à vida do que poderíamos imaginar antes da Era Espacial.

Ao redor de Saturno, o planeta gigante seguinte, as coisas não são tão diferentes. As Voyagers, em 1980, já haviam mostrado que pelo menos uma das luas saturninas merecia atenção especial: Titã. Trata-se do segundo maior satélite natural do Sistema Solar (perde apenas para Ganimedes, de Júpiter). Além de seu porte respeitável (maior que o planeta Mercúrio), Titã também possui uma atmosfera muito espessa – o que, por si só, derruba a tese de que Marte necessariamente não poderia ter uma atmosfera mais densa do que a atual, por falta de gravidade para segurá-la; o planeta vermelho é maior que Titã, e no entanto sua atmosfera é muito mais rarefeita. (Talvez essa comparação também ajude a reforçar a noção de que é quase impossível prever a evolução de um corpo de dimensões planetárias – é possível dar bons palpites com base na distância dele ao Sol, mas outros fatores, de natureza histórica e imprevisível, também influenciarão muito no desfecho da evolução de um dado mundo.)

Recheado de compostos orgânicos (moléculas complexas baseadas em carbono, que servem como base molecular da vida como a conhecemos), Titã é tido pelos cientistas como uma espécie de Terra primitiva – eles acreditam que a lua saturnina seja muito parecida com o que nosso planeta era no começo de sua história. A diferença na evolução dos dois astros é que a Terra, mais próxima do Sol, evoluiu, enquanto Titã, mais distante, ficou "congelado", mantido para sempre em seu estado primitivo.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.6. A sonda Cassini obtém imagens da lua Titã que mostram a densa névoa que a recobre (esquerda). Em algumas freqüências, é possível ver detalhes da superfície (centro). Na terceira imagem, uma combinação de filtros realça a atmosfera e a superfície ao mesmo tempo.

Daí não é um grande salto imaginar que Titã pode nos ajudar a entender como a vida surgiu em nosso planeta. E há cientistas ainda mais audazes, que supõem que talvez seja possível que existam formas de vida alienígenas lá – embora a temperatura baixíssima exija que seu metabolismo seja radicalmente mais lento do que o nosso, e a falta de água líquida talvez seja um problema incontornável.

Mas a maior surpresa vinda daqueles lados não partiu de Titã, e sim de uma pequena lua chamada Encélado. Com apenas 500 quilômetros de diâmetro, ela era vista como um ambiente simples e desinteressante, até a chegada da sonda Cassini ao sistema de Saturno. A exemplo do que a Galileo fez por Júpiter, a Cassini está reforçando o conhecimento que adquirimos de forma apressada com a passagem das Voyagers e, com isso, trazendo seu próprio pacote de surpresas.

Ao sobrevoar Encélado, a Cassini revelou um mundo extremamente ativo – com direito a gêiseres de água líquida e possíveis lagos sob sua superfície congelada. Novamente, é o efeito de marés em operação – muito embora, antes das observações, os cientistas considerassem impossível a existência de fenômenos como os vistos recentemente em corpos tão pequenos quanto essa lua saturnina.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.7. A pequena lua Encélado, fotografada pela sonda Cassini.

Será que os lagos subterrâneos de Encélado podem abrigar vida? Hoje, ninguém é louco de descartar essa possibilidade. Faltam dados para apontar numa ou noutra direção.

O fato claro é que ainda há muito a ser descoberto em nosso próprio Sistema Solar. Talvez, *habitats* inteiros tenham sido desprezados até agora pelo simples fato de que em nada se parecem com os ambientes que a vida geralmente ocupa na Terra. E, para desvendar esses mistérios, será preciso

prosseguir na exploração. Até agora, dos planetas gigantes, apenas Júpiter e Saturno receberam a visita de sondas orbitais que passaram longos períodos em seus arredores. Será que as luas de Urano e Netuno podem revelar surpresas similares? Só vendo.

E é importante considerarmos um pensamento avassalador: estamos falando de apenas um Sistema Solar – o nosso. O que será que pode se esconder ao redor das outras estrelas? Hoje, já conhecemos mais de 200 planetas fora do Sistema Solar, pertencentes a outros sistemas planetários. O Universo é cheio de possibilidades, e temos muito a aprender. Claramente, o melhor ainda está por vir. E já estamos, até mesmo aqui no Brasil, ensaiando os próximos passos desta escalada rumo ao Cosmos.

EXPLORANDO MUNDOS DISTANTES

Os planetas conhecidos hoje fora do Sistema Solar são muito diferentes dos que temos por aqui. Praticamente todos eles são gigantes gasosos, como Júpiter, mas não ficam tão distantes de sua estrela quanto o nosso Júpiter fica do Sol. Na verdade, muitos deles estão tão perto que chegam a completar uma volta – um "ano" daquele planeta – em uns dois ou três dias terrestres! Nos casos extremos, há planetas extra-solares (nome dado àqueles que ficam fora do Sistema Solar) cujo ano dura menos de um dia terrestre.

Claro que todos esses astros, tão próximos assim de suas estrelas, são inóspitos à vida. Primeiro, porque essa proximidade leva a temperaturas altíssimas – esterilizantes. Segundo, porque a composição química dos planetas gigantes gasosos (até onde se sabe) não costuma ser adequada ao surgimento e à evolução da vida como a conhecemos aqui na Terra.

Ninguém esconde, portanto, que o grande objetivo dos astrônomos caçadores de planetas, hoje, é encontrar astros análogos à Terra fora do Sistema Solar. O mais próximo que os cientistas chegaram disso até hoje foi descobrir um planeta com cerca de 7,5 vezes a massa terrestre. Com essa massa relativamente pequena, ele só

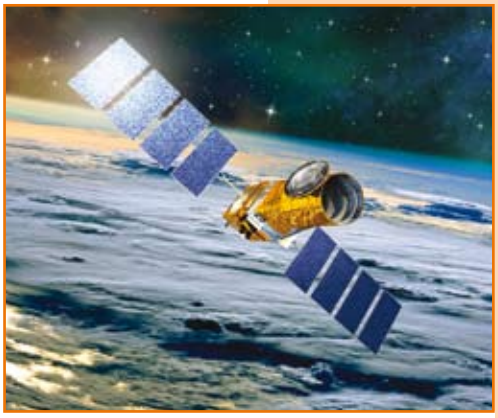
pode ser um planeta rochoso, não gasoso, o que é um passo adiante na busca. Ainda assim, não existe nenhum planeta rochoso de porte tão grande quanto esse no Sistema Solar – o que mais uma vez enfatiza a diversidade muito maior de mundos que podemos ter lá fora, comparada aos parâmetros de nosso sistema planetário.

A verdade é que a tecnologia ainda não está suficientemente madura, hoje, para a busca de planetas como a Terra. E o problema é que o brilho das estrelas-mãe é forte demais, de modo que é extremamente difícil captar a luz vinda de um planeta ao seu redor – ela é ofuscada.

A principal solução encontrada pelos astrônomos para detectar a existência dos planetas foi fazer observações indiretas. Eles monitoram uma estrela durante um longo período de tempo e, ao analisar sua luz, tentam identificar se ela está realizando um "bamboleio", ou seja, deslocando-se levemente para um lado e para o outro ao longo do tempo. Esse "bamboleio" seria a "denúncia" de que existe um outro corpo, com brilho fraco demais para ser observado, girando ao redor da estrela, atraindo-a gravitacionalmente para lá e para cá conforme avança em sua órbita.

Quanto mais massa tiver um planeta e quanto mais próximo ele estiver da estrela, maior o "bamboleio" que ele provoca nela. Por isso a maioria dos planetas extra-solares descobertos até hoje é composta por astros gigantes e colados às suas estrelas.

Uma técnica alternativa, que já começou a ser usada com sucesso pelos cientistas, é observar a estrela e ver se ela passa por ligeiras reduções de brilho ocasionais, em períodos regulares. Essas reduções de brilho seriam um "sintoma" de que um planeta está passando à frente dela com relação aos observadores na Terra, impedindo que parte da luz que ela emite chegue até nós. Esse método (chamado de método do "trânsito", porque envolve um planeta "transitando" à frente de uma estrela) não



Cnes. http://smsc.cnes.fr/COROT/A_gallerie.htm/

Figura 6.8. Concepção artística do satélite franco-europeu Corot , que tem participação brasileira.

é o mais comum hoje, mas deve crescer muito nos próximos anos e, se bobear, deve ser a técnica que irá revelar o primeiro planeta realmente parecido com a Terra.

As expectativas estão todas voltadas para um telescópio espacial chamado Corot (a pronúncia do nome é em francês, "corrô"). Desenvolvido pela Agência Espacial Francesa (Cnes) e pela Agência Espacial Européia (ESA), com participação brasileira, o satélite ficará em volta da Terra observando outras estrelas e tentando detectar "trânsitos", com uma precisão jamais atingida antes.

Livre dos inconvenientes da atmosfera terrestre, o Corot deverá encontrar pelo menos algumas dezenas de planetas com, no mínimo, 1,2 diâmetro terrestre – seriam os análogos mais próximos da Terra já vistos, detectados aos montes. "E não só poderemos detectar planetas como a Terra, mas planetas que estejam na Zona Habitável", diz Eduardo Janot Pacheco, astrônomo do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo que serviu como ponte de contato para a inclusão do Brasil no projeto. Nosso país participa com uma estação de recepção de dados em Alcântara, no Maranhão, além da cooperação científica na análise das informações. O Corot foi lançado com sucesso no dia 27 de dezembro de 2006.



As técnicas de interferometria: utilizam as propriedades da própria luz para obter imagens muito mais nítidas, combinando os dados captados por diferentes telescópios numa única observação.

Mas esse é só o começo. A Nasa não quer ficar para trás nessas pesquisas, e está também preparando um concorrente direto para o Corot . Trata-se do satélite Kepler, que funciona sob os mesmos princípios e deve ser levado ao espaço em 2009. Logo depois dele, a Nasa pretende lançar a Space Interferometry Mission (SIM) [Missão de Interferometria Espacial]. Com o projeto, a agência americana quer aliar as técnicas de **interferometria** às vantagens de realizar observações fora da atmosfera terrestre. Embora tenha notáveis qualidades para a detecção de planetas extra-solares, a SIM promete revolucionar em diversos campos, como astronomia galáctica e extragaláctica.

Finalmente, para a próxima década, tanto a Nasa quanto a ESA têm planos para ambiciosas missões de busca de planetas terrestres

com flotilhas de naves espaciais, usando interferometria óptica. Esses sistemas seriam capazes não só de identificar planetas como a Terra numa escala sem precedentes como também de obter imagens desses objetos e detectar os principais componentes de sua atmosfera. Se encontrarmos um planeta similar ao nosso com fortes traços de oxigênio e vapor d'água, será difícil não pensarmos que existem seres vivos lá. Poderemos também mapear os continentes e oceanos desses mundos e responder, de uma vez por todas, sobre o quanto a vida deve ser rara ou abundante no Universo.

No caso da Nasa, a missão se chama Terrestrial Planet Finder [Localizador de Planetas Terrestres]. Já a versão da ESA, se chama Darwin, e deve sair do chão em torno de 2015. Antes disso, entretanto, a agência européia pretende lançar um outro satélite, chamado Gaia, que fará um verdadeiro censo galáctico, estudando até 1 bilhão de estrelas na Via Láctea. A cada dia de operação, o satélite descobrirá, em média, cem novos asteróides no Sistema Solar e 30 novas estrelas com planetas. A expectativa é de que, ao final da missão, o Gaia tenha detectado entre 10 mil e 40 mil planetas extra-solares. Não é pouca coisa. A sonda será posicionada numa órbita solar a 1,5 milhão de quilômetros da Terra, após um lançamento marcado para o início da próxima década.

Não seria exagero dizer que os próximos 20 anos prometem ser os mais empolgantes da história da astronomia. Em grande parte, pela revolução no estudo dos planetas fora do Sistema Solar, mas também por outros desenvolvimentos. Afinal, nem só de planetas vive esse campo, que, no fim das contas, tem por objetivo desvendar todos os mistérios ocultos do Universo.

ASTRONOMIA E COSMOLOGIA DO FUTURO

É notável como, ao longo dos últimos quatro séculos, a humanidade construiu uma versão consistente da evolução do Universo, desde seu surgimento quente e denso. Hoje, temos um entendimento

razoável do surgimento e da evolução das principais estruturas do Cosmos (estrelas, galáxias, aglomerados, superaglomerados), que nos permitem fazer inferências e tirar conclusões sobre o passado e o futuro do Sol e de seus planetas – por conseqüência, do nosso futuro. Entretanto, quando olhamos mais de perto, vemos que nossos modelos são basicamente rascunhos, com muitas lacunas a serem preenchidas.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.9. O Telescópio Espacial Hubble visto de um ônibus espacial.

O fim do século 20 viu o surgimento dos mais poderosos instrumentos para a confirmação de nossas principais teorias e para o desvendamento dos detalhes ainda ocultos sobre os processos mais relevantes da natureza. Desnecessário dizer que a maior parte dessa instrumentação só obteve sucesso porque estava postada no espaço. E o principal ícone dessa revolução é o Telescópio Espacial Hubble, lançado pela Nasa em um ônibus espacial em 1990. De início, o aparelho apresentou um problema com seu espelho (trata-se de um telescópio refletor, modelo que teve Newton como pioneiro), mas uma reforma realizada por astronautas, em pleno espaço, no ano de 1993, corrigiu o defeito, e o satélite se tornou a incrível ferramenta que é até hoje no estudo do Cosmos.

O Hubble talvez seja a estrela principal nessa constelação de telescópios espaciais, porque, além de ter sido o primeiro a ser lançado, ele "enxerga" de forma parecida com a dos humanos. Claro que isso é um exagero – na verdade, ele possui filtros de cores que realçam certas características da imagem e as tornam tudo, menos naturais –, mas o fato é que o forte do Hubble é a observação nas freqüências da luz visível.

Entretanto, como vimos anteriormente, a luz visível consiste apenas numa pequena faixa de tudo que pode ser detectado em termos de ondas eletromagnéticas. Por isso, a Nasa sempre teve em mente que o Hubble seria apenas o primeiro de uma série

de “grandes telescópios espaciais”. Hoje, outros, equivalentes do Hubble para outras freqüências, estão em operação: temos o Telescópio Espacial Spitzer, especializado em observações em infravermelho, o Observatório Chandra, voltado para os raios X, e o Swift, destinado aos raios gama. Isso sem falar no WMAP, voltado para a radiação cósmica de fundo (microondas), que deve ser superado pelo satélite europeu Planck em resolução. (Aliás, o Planck é muito aguardado pela comunidade científica, que espera resolver várias polêmicas sobre a natureza e a origem do Universo com base em suas observações.)

Essa copiosa quantidade de telescópios espaciais (que é reforçada por outros satélites menores de observação), por mais pródiga que seja, não muda o fato de que o seu primeiro representante, o Hubble, está ficando velho. A despeito das reformas ocasionais pelas quais ele passa, não está distante o dia em que ele fará suas últimas observações. Sua aposentadoria está marcada para o início da próxima década, e a Nasa já está planejando seu substituto: com um espelho muito maior, será lançado ao espaço antes de 2020 o Telescópio Espacial James Webb. Batizado em homenagem ao administrador da Nasa que conduziu a agência espacial à Lua na década de 1960, ele será a pérola dos astrônomos para estudos que vão de planetas extra-solares a pesquisas cosmológicas.

Com o Planck, o James Webb e os outros observatórios espaciais ainda em funcionamento, o mundo pode estar certo de que não faltarão imagens e descobertas espetaculares nos próximos anos. E, a bem da verdade, nem será preciso perscrutar as vastas distâncias do Cosmos para fazer grandes descobertas. As pesquisas realizadas em órbita da Terra também prometem suas próprias revoluções para os próximos anos. A vedete desses esforços, naturalmente, será a conclusão da construção da Estação Espacial Internacional (ISS).



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.10. Ilustração da Estação Espacial Internacional.

CIÊNCIA EM MICROGRAVIDADE

Ninguém questiona a realização técnica na montagem da incrivelmente complexa ISS – e a história longa e atribulada do projeto, com custo total estimado hoje em 100 bilhões de dólares, só reforça a noção de que nada mais ambicioso do que isso foi construído no espaço antes. A questão que muitos se fazem é: vai valer a pena?

Para responder a essa pergunta, em primeiro lugar é preciso entender do que estamos falando. Gostem ou não os críticos do projeto, a ISS é o único laboratório do mundo "equipado" com aparente falta de gravidade. Você pode não ficar muito impressionado com isso à primeira vista, mas muita coisa pode ser realizada em ciência num ambiente de microgravidade. Além de causar mudanças radicais no funcionamento do organismo humano, até mesmo em escala molecular, a microgravidade revela uma série de interações físicas e químicas mais sutis que são usualmente "camufladas" pela ação gravitacional exercida pela Terra nos laboratórios localizados no chão.

Outro bom exemplo de uso da microgravidade é no estudo de medicamentos. Praticamente tudo o que acontece no corpo humano é executado por proteínas – moléculas grandes construídas pelas células segundo receitas codificadas no DNA e que, ao se encaixarem a outras moléculas, iniciam cadeias de reações no organismo. Cada proteína tem uma forma diferente, e determinar a forma é fundamental para descobrir a função que ela exerce, pois o formato é o que permite que ela se "encaixe" em outra e "faça" alguma coisa.

O método mais eficiente para a determinação da estrutura de uma proteína é a cristalografia. Um agregado de proteínas é induzido a formar um cristal, que então é estudado. A partir do padrão formado, os cientistas descobrem o formato de cada molécula individual.

Acontece que fazer com que proteínas se cristalizem na superfície terrestre não é a coisa mais fácil do mundo. Num ambiente de microgravidade, muitas vezes isso vira brincadeira de criança.

O estudo de proteínas pode muito bem ajudar a entender o organismo humano em seu nível mais elementar e também permitir

o desenvolvimento de novas drogas, para inibir ou ativar determinados comportamentos do corpo.

Pesquisas de novos materiais também são beneficiadas pela microgravidade. Experimentos em ônibus espaciais já mostraram que é possível criar vidros muito mais resistentes. Futuros testes na ISS ajudarão a aprimorar essas técnicas, possivelmente sugerindo meios de "driblar" a gravidade, e trazê-las para complexos industriais terrestres.

Esses são só alguns exemplos. Há muito mais. Basta dar uma olhada nos experimentos realizados pelo astronauta brasileiro Marcos Cesar Pontes na ISS em 2006, comentados no capítulo 4, para ver que a gama de possibilidades é vasta. Se bem utilizada, a ISS pode promover uma série de revoluções para os habitantes da Terra.

Agora, não se pode negar que, a despeito de seu valor científico, os experimentos na ISS hoje são muito caros. Por isso, vários países também buscam alternativas para a condução de experimentos mais simples a um custo baixo. Várias nações possuem hoje satélites capazes de portar experimentos e depois retornar em segurança à Terra, para que os cientistas possam analisar os resultados. Não é tão bom quanto ter astronautas envolvidos, que podem interagir e checar o sucesso dos experimentos enquanto trabalham com eles, mas é uma solução interessante para projetos mais simples.

O Brasil tem seu próprio projeto de satélite recuperável – um artefato que vai ao espaço, fica algum tempo em órbita e depois retorna em segurança à Terra. O Satélite de Reentrada Atmosférica (Sara), está sendo desenvolvido pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) em São José dos Campos (SP).

Não seria exagero dizer que suas tecnologias poderiam ser as precursoras para criar uma espaçonave tripulada brasileira – afinal, um dos principais desafios envolvidos em vôos tripulados (como trazer os astronautas de volta) estaria sendo respondido com a tecnologia de um satélite recuperável. A previsão é a de que o primeiro Sara possa decolar ao longo da próxima década.

Outros países, como Rússia, Estados Unidos e China, já possuem modelos parecidos. Entretanto, todas essas nações também perseguem o desenvolvimento de uma estação espacial tripulada (americanos e russos estão reunidos na ISS, e os chineses planejam ter sua própria estação na próxima década). Por quê? A razão é simples. O desenvolvimento de um projeto complexo como uma estação espacial tripulada serve de preparação para as futuras e audaciosas missões reservadas aos astronautas do futuro. O século 21 deve presenciar a formação das primeiras bases lunares e das primeiras excursões a Marte, mas nada disso pode acontecer se antes o ser humano não aprender a construir espaçonaves sofisticadas no espaço e a viver adequadamente num ambiente com aparente falta de gravidade por longos períodos. Esses são os desafios para o futuro, que só podem ser respondidos a partir de pesquisas numa estação espacial tripulada.

DE VOLTA À LUA



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.11. Concepção artística da nave Orion, sucessora da Apollo e dos ônibus espaciais no programa espacial americano.

Em janeiro de 2004, o presidente americano George W. Bush decidiu redirecionar as prioridades do programa espacial dos Estados Unidos. Motivado principalmente pelo acidente com o ônibus espacial Columbia, que matou sete astronautas em fevereiro de 2003, Bush quis estabelecer metas claras para o futuro de seu país no espaço.

Em linhas gerais, a Nasa agora pretende concluir a Estação Espacial Internacional o mais rápido possível e, com isso, aposentar sua frota de ônibus espaciais (hoje as únicas naves capazes de seguir com a montagem do complexo orbital). Para substituí-los, a agência espacial americana está desenvolvendo uma nova espaçonave, baseada nas antigas Apollo, que servirá para diversos propósitos – inclusive o envio de astronautas à Lua. Bush estabeleceu que a primeira missão tripulada lunar deve acontecer no máximo até 2020.

Mas por que ir à Lua? Isso não é algo que os americanos já fizeram nos anos 1960 e 1970? O que mais há para fazer lá? Muita coisa, na verdade.

A primeira justificativa, e mais óbvia, é a de que as missões lunares podem servir de treinamento antes que a humanidade possa lançar-se às suas primeiras viagens interplanetárias – rumo a Marte. Essa foi a argumentação usada pelos assessores do presidente Bush para justificar a parada na Lua antes da ida a Marte.

Entretanto, ela está longe de ser a melhor justificativa. Na verdade, um dos elementos mais atraentes de um retorno à Lua é o científico. Apenas seis locais da superfície lunar foram visitados por astronautas até hoje, e há regiões bem diferentes na Lua (como as dos pólos, que podem até ter gelo de água no fundo de algumas crateras) que jamais foram estudadas de perto. E, além de estudar o satélite natural da Terra, os astronautas poderão construir infra-estrutura de pesquisa para outras aplicações.



Nasa. www.nasa.gov/

Figura 6.12. Astronautas trabalham na Lua, em concepção artística preparada pela Nasa.

O astrofísico americano Frank Drake (1930-), por exemplo, diz que o lado afastado da Lua, isto é, sua face oculta, pode ser o melhor lugar para a realização de observações com radiotelescópios em busca de sinais enviados por civilizações extraterrestres – a famosa Search for Extra-Terrestrial Intelligence (Seti) [Busca por Inteligência Extraterrestre], que envolve a tentativa de detectar ondas de rádio produzidas por alienígenas. Hoje, isso é feito com radiotelescópios terrestres, mas a interferência gerada pelas transmissões humanas está tornando o trabalho cada vez mais difícil. Ao longo do século 21, ele se tornará inviável, e a única possibilidade de prosseguir será se instalar no lado afastado da Lua, usando o satélite natural como "escudo" contra as emissões dos terráqueos.

A astronomia convencional também poderia se beneficiar com a instalação de telescópios na Lua. Afinal de contas, o satélite natural tem

a vantagem da ausência de atmosfera, mas não tem a inconveniência das instalações orbitais, que exigem sistemas mais sofisticados para o apontamento dos instrumentos na direção de seus objetos de estudo, uma vez que não têm uma base fixa sobre a qual se apoiar.

Além disso, outro elemento relevante é a possível exploração de recursos naturais lunares. Há cientistas que defendem que a Lua pode ser a solução para a atual crise energética mundial (que precisa reduzir sua dependência do petróleo e pode não encontrar fontes de energia suficientes para acompanhar o crescimento do consumo). Por exemplo, sabe-se que a Lua possui copiosas quantidades de hélio-3 (um tipo específico do gás nobre hélio, composto por átomos com dois prótons e um nêutron), e esse seria o combustível ideal para futuros reatores de fusão nuclear (que produziriam energia do mesmo modo que o Sol faz, grudando átomos uns nos outros). Outros elementos poderiam ser usados (como o hidrogênio), mas somente hélio-3 produziria uma reação sem lixo radioativo. Ocorre que esse isótopo (tipo) do hélio é muito raro na Terra, mas existe em boas quantidades na Lua. Um dos que defendem a futura mineração do hélio-3 para a produção de energia é o astronauta Harrison Schmitt, geólogo americano que foi um dos últimos a pisar na Lua, em dezembro de 1972.

Outra proposta, talvez mais praticável, é a instalação de painéis solares na Lua. Como não há atmosfera, é possível produzir muito mais energia a partir da radiação solar do que na Terra. Uma vez gerada, a energia seria transmitida para a Terra por microondas, e então convertida em eletricidade para distribuição e uso.

Se isso parece ficção científica, vale lembrar que várias nações estão investindo em missões espaciais para mapear recursos na Lua. A ESA concluiu em 2006 sua missão SMART-1, primeira sonda européia a orbitar o satélite natural terrestre. Índia e China também preparam missões lunares para os próximos anos, e os americanos já têm planos para orbitadores e sondas de pouso, antecipando a ida de astronautas no fim da próxima década. Ou seja, existe um movimento claro vindo de todas as partes do globo em direção à Lua.

Tendo dito isso, vale ressaltar que ninguém considera nada disso mais importante, ao menos em termos científicos, do que o envio

de astronautas a Marte – coisa que não deve acontecer antes da década de 2030.

A CAMINHO DE MARTE

O planeta vermelho encerra as respostas que a humanidade mais procura lá fora. Há vida extraterrestre? Já houve? A vida é um fenômeno comum? Somos uma raridade absoluta, um acidente, na história do Cosmos?

Em algum ponto de seu passado, Marte foi muito similar à Terra – teve massas de água líquida persistentes em sua superfície, tinha uma atmosfera mais densa e era mais quente. Alguns cientistas planetários estimam que essas condições podem ter durado 1 bilhão de anos, ou até mais. Sabe-se que a vida na Terra surgiu "apenas" 600 milhões de anos após o surgimento do planeta. Ou seja, se Marte foi habitável por 1 bilhão de anos, deve ter tido tempo suficiente para que a vida evoluísse.

Claro, isso pende por uma suposição incômoda – a de que a vida surge sempre que condições similares às da Terra se manifestam. Faz sentido, mas não há garantia nenhuma. As respostas devem estar no planeta vermelho, e não será fácil encontrá-las.

Aquele mundo mudou muito, desde o seu passado habitável. Hoje, os sinais daqueles tempos estão, em sua maioria, enterrados sob a fina poeira que recobre o planeta. Será necessário escavar e estudar com precisão muitas rochas, para que se possa determinar algumas questões básicas como: qual foi a duração da época "molhada" de Marte? A vida surgiu lá em algum momento?



Agência Espacial Européia (ESA). www.esa.int/

Figura 6.13. Concepção artística mostra astronautas europeus na superfície marciana.

Claro que missões robóticas têm feito e farão muito mais para que possamos encaminhar essas perguntas de forma satisfatória. Mas muitos cientistas acham que sem a presença humana *in loco* será impossível obter todas

as respostas. Por isso os grandes programas espaciais têm como objetivo final, hoje, o envio de astronautas a Marte.

Quando chegarmos lá, poderemos inclusive estudar uma possibilidade chocante: a de que, se a vida evoluiu em Marte, ela ainda sobreviva em algum lugar do planeta vermelho. Sabemos que a superfície é hoje inabitável (pelo menos para criaturas terrestres), mas o subsolo, ao que tudo indica, possui quantidades significativas de água. E já vimos, pelos extremófilos, que a vida não desiste fácil, uma vez que começa a evoluir. Não seria uma surpresa total – embora fosse a descoberta mais importante da história humana – se houvesse alguma forma de vida nos subterrâneos marcianos.

E, mesmo que não haja ser vivo lá, nem do passado, nem do presente, o que se dirá do futuro?

Será que os seres humanos, uma vez em Marte, devem se esforçar para modificar aquele planeta e torná-lo habitável? Embora ainda seja um sonho distante, vários cientistas discutem as possibilidades de "terraformação" – o processo de transformar um planeta inabitável num mundo mais parecido com a Terra, adequado à colonização biológica.

E as perspectivas não são tão improváveis como podem parecer. Segundo Christopher McKay (1956-), da Nasa, a "terraformação" de Marte começaria pelo acirramento do efeito estufa naquele mundo, para que a atmosfera ficasse mais densa e conservasse mais o calor. Quem dirá que isso é impossível, depois do acirramento do efeito estufa que os humanos estão provocando na própria Terra?

Talvez a viagem a Marte seja não o fim da exploração espacial, e sim o começo. Uma vez transformada em civilização multiplanetária, a espécie humana pode começar a se espalhar pelo Sistema Solar, iniciando um processo de colonização do espaço.

Afinal, como dizia Konstantin Tsiolkovsky, o pai da astronáutica, "a Terra é o berço da humanidade. Mas ninguém pode morar no berço para sempre".



LEITURA COMPLEMENTAR

HÁ VIDA EM MARTE?

Carlos Alexandre Wuenshe de Souza (Inpe).

O planeta Marte, conhecido como "planeta vermelho", é um de nossos vizinhos cósmicos mais próximos e é bastante semelhante à Terra em diversos aspectos. A recente descoberta de água em estado sólido (congelada) em sua superfície traz para os cientistas e o público em geral uma série de novas questões referentes à formação do Sistema Solar. Ao mesmo tempo, ela faz com que nossa imaginação continue a indagar se estamos sós no Universo. Desde a década de 1960, com as sondas Mariner (EUA) e Mars (URSS), passando pelas Mars 4, 5, 6 e 7 (1974) e as Viking 1 e 2 (1976), que foram as primeiras a descerem à superfície, Marte vem sendo estudado cada vez mais detalhadamente. Em 1997 a sonda americana Sojourner (da missão Mars Pathfinder) registrou, de forma inédita, uma série de dados sobre o solo e a atmosfera marcianos e levantou questões interessantes ligadas à existência de água e à provável existência de vida. Desde então, a idéia de vida em Marte retornou com força tanto à mídia quanto aos laboratórios e congressos científicos.

Em agosto de 2003, Marte chegou a 55 milhões de quilômetros da Terra, a distância mais próxima em 60 mil anos. Nesse período de observação intensa, fotos de Marte foram tiradas por diversos observatórios na Terra e pelo Telescópio Espacial Hubble, indicando claramente a existência de gelo nos pólos marcianos. Entre 25 de dezembro de 2003 e 25 de janeiro de 2004, duas sondas americanas e uma européia desceram próximas ao equador marciano. O objetivo principal dos jipes-robôs Spirit e Opportunity era estudar o clima e procurar evidências de água em estado líquido. Ficaram operacionais por mais de três anos depois do pouso. Já o módulo

Beagle 2, da Agência Espacial Européia (ESA), procurava evidências químicas de processos biológicos, ou seja, sinais de vida, mas deixou de enviar sinais assim que tocou a superfície.

Existem dois aspectos importantes que devemos olhar para responder à pergunta do título deste artigo. São eles:

Há água em Marte?

A existência de água é necessária à existência da vida?

Água em Marte: para responder ao primeiro aspecto, devemos interpretar os dados obtidos até o momento. Desde a primeira missão das Viking, existiam evidências de que há água em Marte. Diversas fotos tiradas pela Mars Global Surveryor e pela Sojouner mostravam sinais de depósitos de aluvião em crateras, indicando que água líquida poderia ter levado os sedimentos até o local em que eles foram fotografados. Havia também fotos do Hubble e de diversas outras sondas indicando a presença maciça de gás hidrogênio (elemento que, combinado com o oxigênio, forma a água), principalmente nos pólos de Marte. As indicações de que, nos primórdios do sistema solar, a Terra e Marte apresentavam características muito parecidas reforçavam a possibilidade cada vez maior de existência de água, quer sob a forma líquida, quer sob a forma de gelo.

Finalmente, fotos e medidas da superfície e da atmosfera de Marte feitas pelo Spirit e pelo Opportunity indicam que Marte realmente foi um planeta úmido em sua infância, com atmosfera densa, efeito estufa e água correndo pelos vales. Temos também evidências de que existe água congelada na superfície, bem como indicações de água no estado líquido no subsolo e, conforme evidências de 2006, água circulando pela superfície do planeta em épocas bem recentes.

A combinação de fotos, de medidas diretas com os instrumentos a bordo dos robôs e da interpretação dos diversos cientistas envolvidos nas missões dão a seguinte resposta ao primeiro aspecto: existe água em Marte sob a forma de gelo, sem sombra de dúvida.

Existem também diversas evidências de que, num passado recente, água no estado líquido esteve presente em diversos processos geológicos na superfície. Possivelmente, devido à órbita de Marte e à inclinação rápida e exagerada de seu eixo de rotação, devemos encontrar água em estado líquido no subsolo e, eventualmente, na superfície, ainda que por curtos intervalos de tempo. Particularmente, uma rocha marciana chamada "McKittrick" foi estudada e nela foi encontrada uma grande concentração de enxofre e bromo, próximo ao solo. Normalmente essa concentração ocorre quando uma solução salina evapora lentamente, fazendo com que compostos salinos se precipitem em seqüência, o que caracteriza a presença de água na superfície.

Associação da água com a vida: sabemos que a água é essencial na manutenção da vida como a conhecemos e que os primeiros compostos orgânicos e a vida unicelular nasceram e se desenvolveram na água. Nesse momento, podemos formular várias questões: existe vida em Marte? Se há, onde estão as evidências? Não existe vida? Se Marte e a Terra foram tão parecidos no início da formação do Sistema Solar, pode ter existido vida lá? Se existiu, por que ela se extinguiu? O módulo Beagle 2 planejava encontrar respostas a estas questões, mas, devido ao acidente, será necessário esperar mais algum tempo.

Entretanto, podemos especular sobre a origem de uma possível forma de vida, semelhante à nossa, em Marte. Sabemos que as órbitas de Marte e da Terra permitem que os planetas passem próximos um do outro de tempos em tempos e que a duração do ano marciano é praticamente o dobro da duração do ano terrestre. O impacto de asteróides, tanto na Terra quanto em Marte, faz com que seja possível que rochas de um desses planetas seja ejetada para o espaço e que, em condições adequadas, possa atingir outro astro próximo. A atração gravitacional do Sol faz com que seja mais viável uma rocha ejetada de Marte "cair" para a Terra do que o contrário, considerando que ambas tenham sido ejetadas com a mesma energia cinética.

Em 1984, foi encontrado na Antártica um meteorito originário de Marte (ALH 84001) com algumas marcas que sugeriam a presença de vida primitiva em Marte há 3,6 bilhões de anos. Sua estrutura e evidências químicas sugerem que os minerais ali presentes podem ter sido formados com o auxílio de organismos primitivos semelhantes a bactérias. Ele deve ter sido ejetado de Marte por um forte impacto há cerca de 16 milhões de anos e caiu na Antártica há cerca de 13 mil anos. Existem duas tendências de interpretação deste resultado: a primeira sugere que a contaminação ocorreu depois da queda do meteorito na Terra e, portanto, os traços de ação de organismos vivos não são de origem extraterrestre. A outra corrente acredita que é possível que realmente os traços tenham sido gerados por uma forma de vida primitiva em Marte, mas acha que, se isso é verdade, deve haver "assinaturas" semelhantes na superfície do planeta. A equipe que trabalhou na sonda Beagle 2 é partidária dessa segunda tendência.

De qualquer maneira, a existência de água em Marte desperta sonhos em todos os que olham para o espaço na esperança de existir vida fora da Terra e permite projetos muito mais ousados de nos aventurarmos para além do nosso "ecossistema planetário" (Terra + Lua). A água é essencial para todos os processos bioquímicos humanos e a viagem a qualquer lugar fora da Terra que não contenha água acessível a exploradores terrestres torna-se uma missão quase impossível.

A resposta à pergunta do título deste artigo pode ser resumida da seguinte forma: descobrir água em Marte desperta sonhos de termos "irmãos" em Marte, mesmo que sejam bem menos complexos. Ao mesmo tempo, ela permite que sonhos remotos de exploração espacial se aproximem muito mais da condição de projetos viáveis, devido à existência de água líquida em outro astro do Sistema Solar, um dos componentes essenciais para a criação e manutenção da vida, tal como a conhecemos.



ATIVIDADES

JOGO MISSÕES ESPACIAIS

Clara Bicalho Maia Correia (Estudante do Ensino Médio do Colégio Militar Brasília), Claudete Nogueira da Silva (AEB/Programa AEB Escola), Diones Charles Costa de Araújo, Egbert Amorim Rodrigues (CE Paulo Freire/SEGO), Eurismar Bento Souza (CE Jesus Maria José), Geraldo Barbosa de Oliveira Filho (CEM Paulo Freire/SEDF), Heluiza dos Santos Brião Bragança (AEB/Programa AEB Escola), Ivette Maria Soares Rodrigues (AEB/Programa AEB Escola), Jaime Pereira Antunes Campos (CEF 01 do Planalto/SEDF), Joaquim Walter de Souza Menezes (EC Sargento Lima/SEDF), Lana Narcia Leite da Silveira (Educandário Eurípedes Barsamulfo), Luci Fumiko Matsu Chaves (Faculdade Alvorada), Marcos Antônio da Silva (CEM 01 de Planaltina/SEDF), Maria Emília Mello Gomes (AEB/Programa AEB Escola), Nilzete de Castro Silva (CEEDV/SEDF) e Paulo Eduardo Cruz Pereira (Apada/SEDF).

Apresentação

Jogar é uma das atividades mais antigas da humanidade e envolve diversão, socialização e aprendizagem da cultura e valores de uma dada sociedade. Jogar ou brincar é, por isso, uma forma de decifrar o mundo que nos rodeia.

Utilizados como estratégias didáticas, os jogos são mobilizadores e envolventes, porque não são estanques, encerram movimento e trazem consigo desafios contínuos. Ao acertar uma resposta, o participante é desafiado com outra pergunta, isto é, sempre que supera uma etapa, aparece outra.

O jogo “Missões Espaciais”, elaborado por professores do Distrito Federal, foi concebido, inicialmente, para atender a eventos de divulgação científica, em que o público-alvo são jovens de diferentes faixas etárias, abrangendo desde estudantes das primeiras séries do ensino fundamental até alunos do ensino médio.

Nesse sentido, foram elaboradas perguntas básicas (desafios), que, em sua maioria, requerem apenas a habilidade de interpretação de texto dos participantes. Levou-se em consideração, também, o fato de que os estudantes, em geral, sentem-se intimidados, com receio de errar, ao terem que responder às perguntas diante de uma platéia, principalmente, se houver um tempo estipulado para a resposta.



Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.14. Participantes da Jornada Espacial jogando.

Por outro lado, o objetivo maior do jogo era fazer com que os participantes e o público assistente tivessem acesso a informações básicas sobre diferentes temas da área espacial. A estratégia adotada para atrair a atenção do público foi a criação de um tabuleiro humano, em que os participantes do jogo eram eles próprios os peões (pinos), conforme ilustra a Figura 6.14.

Em função do sucesso alcançado com essa experiência, surgiu a idéia de se adaptar o formato do jogo para um tabuleiro normal, ou seja, com peões (pinos) de verdade, transformando-o em mais uma proposta de atividade dos volumes 11 e 12, relativos ao tema "Fronteira Espacial".

O jogo "Missões Espaciais" pode ser utilizado em qualquer disciplina, ou mesmo em uma atividade multidisciplinar. Além do envolvimento que promove, a atividade estimula o desenvolvimento de capacidades para resolver problemas, argumentar e trabalhar em equipe.

Objetivo

Utilizar a temática espacial como ferramenta pedagógica para explorar, de forma instigante, os diversos conteúdos abordados nos volumes 11 e 12 "Fronteira Espacial".

Materiais

- 1 tabuleiro
- 1 dado

- 4 pinos coloridos
- Cartas



Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.15. Materiais do jogo.

Os arquivos com cada elemento do jogo foram salvos no CD "Missão Centenário", que integra o encarte deste livro, os quais poderão ser acessados por meio do ícone "Jogo MISSÕES ESPACIAIS". Para acessar cada arquivo, basta clicar no ícone correspondente, conforme a seguir: "Tabuleiro". "Pinos", "Dado", "Cartas", salientando que cada arquivo contém, também, as instruções para a montagem do produto.

Modelos das peças do jogo:

Tabuleiro



Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.16. Tabuleiro.

O tabuleiro foi concebido no formado 29,7 cm x 42 cm, correspondendo a uma folha no formado A3 (duas vezes o formato de uma folha A4). Caso seja possível, sugere-se a plastificação do tabuleiro, visando assegurar maior durabilidade ao produto. A Figura 6.16 ilustra o modelo proposto para o tabuleiro.

Pinos

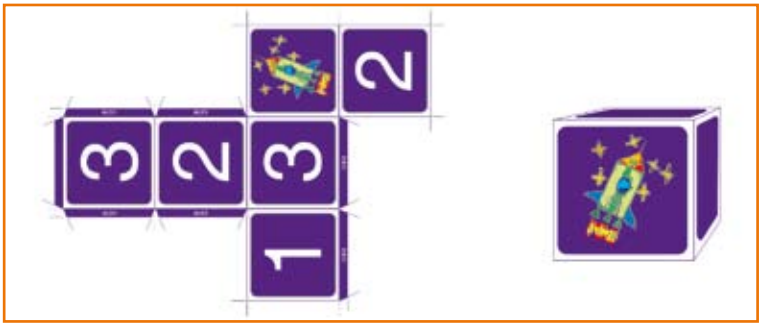


Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.17. Pinos.

Os pinos foram concebidos no formato de um prisma com base triangular (altura do prisma = 3,3 cm, altura da base = 1,8 cm e lado da base = 2,2 cm), sendo que cada prisma contém o desenho de uma das missões espaciais do jogo e sua cor varia de acordo com as respectivas missões. A Figura 6.17 ilustra o modelo de pino proposto.

Dado



Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.18. Dado.

O dado foi concebido com 5 (cinco) faces numeradas de 1 (um) a 3 (três), contendo em uma das faces o foguete do AEB Escola,

a qual corresponde ao maior número do dado, ou seja, o número 4 (quatro). A Figura 6.18 ilustra o modelo do dado proposto.

Cartas

Sugere-se que as questões das cartas sejam elaboradas em sala de aula, de forma a assegurar que o grau de dificuldade das mesmas estejam de acordo com o grau de conhecimento dos alunos envolvidos na atividade, quais sejam:

1ª fase – questões sobre astronomia e sobre a temática espacial em geral.

2ª fase – questões sobre satélites de coletas de dados, veículos lançadores de satélites, foguetes de sondagem, satélites de sensoriamento remoto.

No ícone do CD "Missão Centenário" relativo às cartas do jogo, foram disponibilizadas as perguntas utilizadas em eventos de divulgação científica, as quais requerem, essencialmente, raciocínio lógico, tendo em vista a heterogeneidade do público-alvo. A título de exemplo, foram disponibilizadas, ainda, algumas perguntas que requerem, também, raciocínio lógico e algum conhecimento sobre os temas. O professor pode se valer da própria estrutura do arquivo disponibilizado para elaborar as questões.

Regras

No ícone "regras", o professor terá acesso às regras a serem impressas para o jogo, as quais poderão ser adequadas, de acordo com a dinâmica adotada pelo professor para o jogo.

Nos termos das regras sugeridas, os jogadores serão desafiados a cumprir missões espaciais, sendo que a primeira delas será tornar-se um cientista espacial e, uma vez conquistado esse desafio, serão convidados a cumprir uma das missões espaciais, conforme descrito a seguir:

- Missão SCD – Satélite de Coleta de Dados

- Missão VLS – Veículo Lançador de Satélites
- Missão VSB-30 – Foguete de Sondagem – Experimentos em Microgravidade
- Missão Cbers – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

Sugestões de problematização

O que são e para que servem os veículos lançadores de satélites? De que maneira os satélites contribuem para as nossas vidas? O que é preciso para manter os satélites em órbita? As sociedades humanas poderiam viver atualmente sem o apoio de satélites? Para que servem os experimentos em microgravidade? Quais leis da física estão envolvidas no lançamento de um foguete ao espaço?

Procedimentos

Estudo do tema

Trabalhar previamente os temas das missões com os alunos, utilizando as estratégias didáticas mais adequadas ao grupo. Para subsidiar este trabalho, além dos volumes 11 e 12 "Fronteira Espacial", o professor tem à disposição um conjunto de CDs e vídeos com conteúdos complementares. Os alunos, a critério do professor, também poderão receber um texto de apoio, elaborado pelo professor de acordo com os conteúdos abordados, quando da elaboração das questões.

Execução do jogo

1. Apresentar a atividade e as regras do jogo, definindo previamente qual será a premiação para cada jogador que cumprir sua missão; pode ser, por exemplo, pontos extras na matéria. Sugere-se que todos os estudantes sejam incentivados

a concluir suas missões, independentemente de ficarem ou não em primeiro lugar, pois o maior ganho será o conhecimento adquirido à medida que se acompanha um colega na finalização de sua missão.

2. Dividir a turma em grupos de até 4 (quatro) alunos; para tanto, serão necessários 10 conjuntos do jogo. Outra alternativa é trabalhar com até 4 (quatro) duplas, sendo necessários, para isso, 5 (cinco) conjuntos do jogo.

3. Dispor os grupos em círculo na sala ou pátio, dispondo o tabuleiro no centro dos grupos.

4. Cada participante joga uma vez o dado para definir a ordem em que jogará, ressaltando que o foguete do AEB Escola corresponde à maior pontuação do dado, ou seja, 4 (quatro). Se houver empate, os jogadores envolvidos jogam novamente o dado até obter desempate.

5. Antes de começar a responder aos desafios (perguntas), cada jogador deverá escolher um pino. A cor do pino definirá a missão a ser cumprida pelo jogador, conforme indicado no tabuleiro.

1ª fase do jogo (Nesta fase os jogadores serão desafiados a completar a missão de se tornarem cientistas espaciais).

6. Ao iniciar a 1ª fase, cada jogador responde a um desafio, seguindo a ordem sorteada, e tem no máximo 20 segundos para responder à questão. Fica a critério do professor ler ele mesmo a pergunta ou entregar a carta correspondente à que foi escolhida, porém sem a resposta, para que o próprio jogador leia a pergunta a ser respondida.



Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

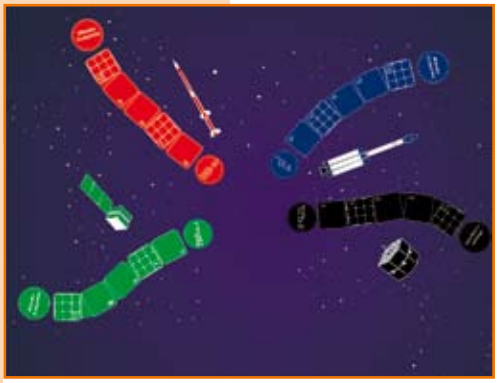
Figura 6.19. 1ª fase do jogo.

7. Se a resposta estiver correta, o jogador lança o dado uma vez para saber quantas casas deve avançar e, em seguida, passa

a vez para o próximo jogador. Se tirar o foguete AEB Escola, avança 4 (quatro) casas.

8. Se a resposta estiver errada, permanece onde está e passa a vez para o próximo jogador. Assim será, sucessivamente, até que cada jogador consiga tornar-se um cientista espacial, passando pela casa da Agência Espacial Brasileira (AEB), conforme indicado no tabuleiro.

2ª fase do jogo (Nesta fase os jogadores serão desafiados a completar a missão correspondente à cor do seu pino, conforme indicado no tabuleiro).



Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.20. 2ª fase do jogo.

9. Ao entrar na casa relativa à sua missão o jogador (cientista espacial) passará a receber questões (desafios) referentes a esta missão.

10. O jogo termina quando todos os jogadores (cientistas espaciais) cumprirem suas missões.

Orientações complementares

Casas especiais do tabuleiro

Casa 3 – Você está se saindo muito bem em sua tarefa de preparação para tornar-se um cientista espacial; avance imediatamente uma casa e aguarde a próxima jogada.

Casa 7 – Você está se saindo muito bem em sua tarefa de cumprir uma missão como cientista espacial; avance imediatamente duas casas e aguarde a próxima rodada.

Casa 10 – Você chegou a um ponto crítico de sua missão e, por isso, precisa preparar-se melhor para vencer o próximo desafio; fique a próxima rodada sem jogar.



Heluiza Bragança (AEB/Programa AEB Escola).

Figura 6.21. Casas especiais do tabuleiro.

Sugestões de perguntas e respostas

Temática espacial em geral

1. O Sistema de Posicionamento Global (GPS), pode ser utilizado por qualquer pessoa do planeta para se orientar sem risco de se perder. Um receptor de GPS utiliza que tipo de coordenadas?

   a) Pontos cardeais.

   b) Pontos colaterais.

   c) Latitude e longitude.

   Resposta correta: c

2. Quando estamos assistindo a um jornal pela televisão ou pela internet e o apresentador, no Brasil, está falando com outro, em um país distante, notamos uma demora no diálogo. O que ocasiona tal demora?

   a) O sinal demora um tempo para ir da Terra até o satélite e mais um tempo para voltar até a Terra.

   b) Interferência das ondas eletromagnéticas.

   c) Interferência das ondas de rádio.

   Resposta correta: a

3. As órbitas de um satélite sofrem alterações ao longo do tempo, pois outras forças atuam sobre ele. Estas forças são:

   a) Força cinética e arrasto atmosférico.

   b) Atrações gravitacionais do Sol e da Lua e o arrasto da atmosfera.

   c) Arrasto atmosférico e forças centrípetas.

   Resposta correta: b

4. A estrutura de um satélite é a ligação mecânica entre os diversos equipamentos. Ela tem, em geral, as funções Mecânica e Geométrica. O que representa a função Geométrica?

a) Suportar os esforços durante o lançamento, desacoplamento, operações, transporte e armazenamento.

b) Fornecer uma superfície de montagem para equipamentos, protegendo-os da radiação, e prover interface com o veículo lançador.

c) Suprir energia, armazenamento e condicionamento de combustível.

Resposta correta: a

5. Quais forças atuam sobre o movimento orbital do satélite?

   a) Somente as atrações gravitacionais.

   b) Atrações gravitacionais do Sol e da Lua, os efeitos da pressão de radiação solar e do arrasto atmosférico.

   c) Somente os efeitos da pressão e radiação solar e do arrasto.

   Resposta correta: b

6. A Bandeira do Brasil retrata parte da esfera celeste. Esta esfera é composta por estrelas que formam constelações. O que representam as estrelas que estão na Bandeira do Brasil?

   a) O Cruzeiro do Sul.

   b) A constelação de escorpião.

   c) Os estados brasileiros mais o DF.

   Resposta correta: c

7. Devido ao atrito com a atmosfera, um asteróide em queda na Terra pega fogo e, na maioria das vezes, se desintegra. Quando um asteróide entra na atmosfera da Terra, ele é chamado por muitas pessoas de:

   a) Estrela incandescente.

   b) Estrela cadente ou meteoro.

   c) Poeira cadente.

   Resposta correta: b

Missão SCD – Satélite de Coleta de Dados

8. As Plataformas de Coletas de Dados (PCDs) são pequenas estações automáticas instaladas em terra, no mar, rios e lagos. As PCDs transmitem dados para os satélites, que os retransmitem para a estação receptora principal do INPE em Cuiabá, MT. Para qual satélite as PCDs enviam dados?

   a) Satélite Geoestacionário Brasileiro (SGB).

   b) Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (Cbers).

   c) Satélite de Coleta de Dados (SCD).

   Resposta correta: c

9. A energia necessária à operação do SCD, em órbita da Terra, provém de células fotovoltaicas que revestem quase toda a superfície do SCD. Qual é a forma do SCD?

   a) Do Sol.

   b) Da Terra.

   c) Da Lua.

   Resposta correta: a

10. Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar compõem as Plataformas de Coleta de Dados (PCDs). Os dados coletados pelo SCD das PCDs são indispensáveis para:

    a) Previsão do tempo.

    b) Crescimento urbano.

    c) Controle das queimadas.

    Resposta correta: a

11. O controle de atitude do SCD utiliza um sensor que determina, com base na posição do Sol, para onde o satélite deve ficar apontado. Como funciona este sensor solar?

    a) Utiliza o horizonte terrestre como referência e é comum em satélites de órbita baixa.

b) Obtém a atitude do satélite por comparação de um catálogo de estrelas gravado internamente.

c) Mede o ângulo entre um plano de referência no satélite e a direção do Sol.

Resposta correta: c

Missão VLS – Veículo Lançador de Satélites

12. Para colocar o Satélite de Coleta de Dados (SCD) em órbita da Terra, é necessário que ele alcance a velocidade de 28.000 km/h. É por essa razão que os veículos lançadores de satélites carregam toneladas de combustível. O VLS-1 faz uso de 41 toneladas de combustível (propelente) para lançar satélites. Que nome se dá ao combustível de um foguete?

    a) Gasolina.

    b) Propelente.

    c) Energia.

    Resposta correta: b

13. Para colocar o Satélite SCD em órbita da Terra na altitude desejada, ou seja, 750 km, é necessário que o satélite alcance a velocidade de 28.000 km/h. Para alcançar estas condições de velocidade e altitude, o VLS necessita de 41 toneladas de propelente, divididos em 7 (sete) motores que integram os 4 estágios do VLS. Quantas toneladas de propelente o VLS necessita para alcançar as condições de velocidade e altitude que o SCD necessita para ser colocado em órbita?

    a) 4 toneladas.

    b) 41 toneladas.

    c) 7 toneladas.

    Resposta correta: b

14. Em um motor de foguete os gases resultantes da queima do combustível são liberados através de uma tubeira, gerando

a força necessária para mover o foguete em sentido oposto. O mesmo efeito ocorre com um balão de aniversário, quando o enchemos de ar e o soltamos. Por onde são liberados os gases decorrentes da queima do combustível do motor-foguete?

a) Coifa.

b) Empena.

c) Tubeira.

Resposta correta: c

15. A maior parte do combustível do VSL é consumida para vencer a, ou seja para que o VLS possa sair do solo e acelerar-se no campo gravitacional. O restante é consumido para vencer o atrito atmosférico e colocar a carga-útil em órbita da Terra. Qual o percentual de combustível necessário para que o VLS consiga vencer a gravidade?

a) 20%.

b) 80%.

c) 100%.

Resposta correta: b

Missão VSB-30 – Foguete de Sondagem – Experimentos em Microgravidade

16. Em 2007, foi lançado o quarto foguete de sondagem VSB-30, com uma carga-útil constituída de nove experimentos. O lançamento ocorreu no CLA (Centro de Lançamento de Alcântara), no estado do Maranhão. Qual a altitude máxima do VSB-30?

a) 270 km.

b) 243 km.

c) 300 km.

Resposta correta: a

17. Por não possuir energia suficiente para entrar em órbita, o VSB-30 realiza um vôo parabólico e retorna à superfície

da Terra. A altura máxima alcançada por sua carga-útil é denominada apogeu. Que nome se dá à distância medida entre o ponto de lançamento do foguete o seu ponto de impacto?

a) Apogeu.

b) Alcance.

c) Distância alcançada.

Resposta correta: b

18. Por transportarem menos combustível, os foguetes de sondagem não são capazes de colocar objetos em órbita da Terra. Para que servem os foguetes de sondagem, como o VSB-30?

a) Fazer pesquisas em Marte.

b) Fazer pesquisas na Lua.

c) Fazer pesquisas com experimentos de microgravidade.

Resposta correta: c

19. Após atingirem uma altitude máxima, as cargas-úteis dos foguetes de sondagem retornam à superfície da Terra, por ação da gravidade. É algo similar ao arremesso de uma pedra que, jogada para cima, retorna à superfície. Por que a carga-útil de um foguete de sondagem retorna à superfície terrestre, após o seu lançamento?

a) Devido ao atrito com a atmosfera terrestre.

b) Devido à ação da gravidade.

c) Porque acaba o seu combustível.

Resposta correta: b

20. O VSB-30 é um foguete de sondagem com dois estágios (motores). Possui o comprimento de 12,6 metros e a massa total de 2.570 kg. O VSB-30 é um foguete de sondagem que pode levar em sua carga-útil experimentos com até:

a) 12,6 kg.

b) 400 kg.

c) 2.570 kg.

Resposta correta: b

Missão Cbers – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

21. As imagens da superfície da Terra obtidas pelo satélite Cbers ajudam no estudo de oceanos, rios, cidades, florestas e culturas agrícolas. O satélite Cbers, desenvolvido pelo Inpe, é útil para?

a) O estudo das estrelas.

b) O sensoriamento remoto.

c) A comunicação telefônica.

Resposta correta: b

22. Em julho de 1988, Brasil e China assinaram um acordo de cooperação para o desenvolvimento do Programa Cbers. O que significa a sigla Cbers?

a) Satélite Brasileiro de Estudos Regionais.

b) Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.

c) Satélite Brasileiro Especializado em Rios.

Resposta correta: b

23. O Cbers é uma série de satélites brasileiros desenvolvidos em parceria com a China para observação da Terra. Ele fica em uma órbita de 780 km de altitude e leva 26 dias para realizar a cobertura total do planeta. Qual o período de cobertura do Cbers?

a) 24 dias.

b) 26 dias.

c) 30 dias.

Resposta correta: b



conclusão

Rogério Castro (AEB/Programa AEB Escola), 2008.

Ao chegarmos ao final deste livro, não podemos guardar uma sensação de encerramento. Se há algo que a exploração espacial nos ensina é de que o fim nunca chega – por vezes ele pode até parecer se insinuar no horizonte distante, mas nunca passa de uma miragem. Assim como a sede pelo conhecimento, o espaço também é inesgotável. E o processo de ensino da astronomia e da astronáutica não pode jamais encontrar seu fim.

E o que isso quer dizer, em termos concretos, para os professores? Essencialmente, este livro e seus dois volumes são apenas um ponto de partida – os alicerces, por assim dizer, para o início de uma aventura maravilhosa. Cabe aos mestres (e, por que não, aos alunos) manter as "antenas ligadas", pois todos dias existem novidades importantes nos campos da astronomia e da astronáutica.

Felizmente, a fascinação pelos astros e pela exploração faz com que os veículos de comunicação (as revistas, os jornais, os programas de televisão e os sítios de notícias na Internet) façam coberturas interessantes (por vezes inspiradas e inspiradoras) dos temas espaciais. Por que não trazer essas reportagens em sala de aula e usá-las como eventos concretos de discussão entre os alunos?

É uma atividade das mais simples, mas que pode ajudar a tornar o aluno parte do processo de aprendizado. Se ele for encorajado a prospectar informações nos veículos de comunicação, estará adquirindo um hábito que não só o ajudará no aprimoramento de seus conhecimentos daquele determinado tema, mas

permitirá a construção de sua cidadania. É lendo, buscando informações e exercendo o espírito crítico que o aluno de hoje se tornará o mestre de amanhã.

Com esse mesmo intuito de fazer com que a juventude se sinta parte desse movimento espacial, é importante mantê-los em contato com os avanços (e mesmo as dificuldades) do Programa Espacial Brasileiro. Nesse caso, além dos veículos de comunicação, vale também deixar a recomendação para visitas periódicas ao sítio da Agência Espacial Brasileira na Internet: www.aeb.gov.br/.

O Programa AEB Escola, além de ter norteado a confecção deste livro, produz com frequência materiais didáticos que podem auxiliar o professor nessa tarefa de se manter atualizado e sempre em processo de aprimoramento com suas estratégias de ensino da astronomia e da astronáutica. Esses materiais também podem ser encontrados no sítio da AEB.

Sítios de outras agências espaciais espalhadas pelo mundo também podem ser de serventia. O mais acessível talvez seja o da Agência Espacial Européia (ESA), em www.esa.int/. Como Portugal faz parte desse órgão internacional, há conteúdo em língua portuguesa – um grande facilitador. Mais completo, porém somente com versões em inglês e espanhol, o sítio da Nasa, a agência espacial americana, também é uma excelente opção.

Com essas referências, já é possível estabelecer um bom método de reciclagem de conteúdos, indo além do que está presente nesta obra. Mas não basta, evidentemente, ampliar o leque de assuntos. O mais importante, em todas as etapas da inclusão do aprendizado de astronomia e astronáutica, é transmitir a mensagem de que não há erro em ser ousado, em acreditar em coisas improváveis.

A trajetória da humanidade na Terra é de revoluções. E por revoluções entendemos mudanças significativas no modo de pensar o mundo, convertendo em idéias consolidadas o que

antes eram apenas sonhos. A história da ciência é recheada de exemplos que ilustram a qualidade dos que são ousados: Galileu Galilei teve de ser corajoso e contestar o *status quo* para que o homem saltasse a um novo nível de conhecimento. O mesmo se deu com Charles Darwin, Albert Einstein e – especificamente na ciência dos foguetes – Konstantin Tsiolkovsky, Robert Goddard e Wernher von Braun. Eles acreditaram em coisas que ninguém mais podia acreditar. E, mais importante, tiveram a engenhosidade de demonstrar que estavam certos.

Se conseguirmos incutir em nossas crianças o espírito crítico, o ceticismo saudável da ciência, o gosto por estar bem-informado, balanceado com uma dose de audácia e convicção pessoal, estaremos formando cidadãos e pensadores completos, que poderão impulsionar nossa espécie a escalar os futuros degraus na inexorável evolução humana.

Depois que o estudo dos astros revelar ao homem com toda a clareza o contexto de seu surgimento no universo, restará a ele redefinir seu próprio papel nesse universo – de criatura a criador –, com base na inabalável certeza do conhecimento adquirido.

É natural que o ser humano encontre suas limitações ao longo desse caminho. Mas isso não é o importante. O que realmente importa é que ele as descubra ao tentar superá-las, e não contentando-se em não desafiá-las.

REFERÊNCIAS

ADAMS, Fred; LAUGHLIN, Greg. **Uma biografia do Universo**: do big bang à desintegração final. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

ALHO, C.J.R. Manejo e conservação da natureza. In: J.M.G.de Almeida Junior (Org.) **Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento.** São Paulo: Ed. Brasiliense S.A., 1986, p. 514-533.

ARISTÓTELES. **Meteorology**. Tradução de E.W. Webster. Adelaide: University of Adelaide, 2004.

ASHCROFT, Frances. **A vida no limite.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

AYRES, J.M.; BEST, R. Estratégias para a conservação da fauna amazônica. **Supl. Acta Amazônica**, 9(4):81-101, 1979.

BARBER, David J.; SCOTT, Edward R. D. Origin of supposedly biogenic magnetite in the Martian meteorite Allan Hills 84001. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America***, v. 99, n. 10, May 14, 2002, p. 6556-6561.

BARCELOS, Eduardo Dorneles. **Telegramas para Marte.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

BERGREEN, Laurence. **Viagem a Marte.** Rio de Janeiro: Objetiva, 2002.

BOTTKE, William et al. (eds). ***Asteroids III.*** Tucson: The University of Arizona Press, 2003.

BROOKS, Courtney G.; ERTEL, Ivan D. ***The Apollo spacecraft chronology.*** Washington: Nasa, v. 3, 1973. (Nasa SP-4009, 1973).

BROWNLEE, Donald; WARD, Peter. ***Rare Earth.*** New York: Copernicus Books, 2000.

_____. ***The life and death of planet Earth.*** New York: Times Books, 2003.

BRYSON, Bill. ***A short history of nearly everything.*** New York: Broadway Books, 2003.

BUNYARD, P. The significance of the Amazon Basin for global climatic equilibrium. ***The Ecologist***, 17(4/5):139-141, 1987.

CÂMARA, I. G. **Conservação da natureza e legislação.** In: J.M.G.de Almeida Junior (Org.) Carajás: desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Ed. Brasiliense S.A., 1986, p. 560-587.

CANUP, Robin M.; ASPHAUG, Erik. Origin of the Moon in a giant impact near the end of the Earth's formation. ***Nature***, v. 412, p. 708-12, 2001.

CAMPBELL, Bruce et al. Radar imaging of the lunar poles. ***Nature***, v. 426, p. 708-12, 2003.

CHAPMAN. Clark R.; POLLACK, James B.; SAGAN, Carl. ***An analysis of the Mariner 4 photographs of Mars.*** Washington: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1968. (Special Report 268).

CHAPMAN. Clark R. et al. ***The comet/asteroid impact hazard***: a systems approach. Boulder: Office of Space Studies, Southwest Research Institute, 2001.

_____. Perspectives on the impact hazard in a dangerous world. In: American Association for the Advancement of Science, Annual Meeting, 169. Denver, Colorado. ***Proceedings…*** Denver: AAAS, 2003.

CHRISTIANSON, Gale E. Kepler's somnium: science fiction and the renaissance scientist. ***Science Fiction Studies***, v. 3, Part 1 Greencastle, 1976.

CLARKE, Arthur C. ***The exploration of space.*** Bristol: Pelican Books, 1958.

_____. Extra-terrestrial relays. ***Wireless World***, Oct., p. 305-308, 1945.

CLARKE, Lee. Responding to panic in a global impact catastrophe. In: American Association for the Advancement of Science, Annual Meeting, 169. Denver, Colorado. ***Proceedings…*** Denver, Colorado: AAAS, 2003.

COCCONI, Giuseppe; MORRISON, Philip. Searching for insterstellar communications. ***Nature***, v. 184, 1959, p. 844-6.

COLLINS, Michael. ***Mission to Mars.*** Nova York: Grove Press, 1990.

Columbia accident investigation board report, V. I. Washington: Nasa, 2003.

COSTA FILHO, Edmilson. **Política espacial brasileira.** Rio de Janeiro: Editora Revan, 2002.

DARLING, David. ***The complete book of spaceflight.*** Nova York: John Wiley & Sons, 2002.

DUNAR, Andrew. J.; WARING, Stephen P. ***Power to explore***: a history of marshall space flight center, 1960-1990. Washington: US Government Printing Office, 1999.

ERTEL, Ivan D.; MORSE, Mary Louise. **T*he Apollo spacecraft chronology***, v. 1. Washington: Nasa, 1969. (Nasa-SP-4009).

ERTEL, Ivan D.; NEWKIRK, Roland W. ***The Apollo spacecraft chronology***, v. 4. Washington: Nasa, 1978. (Nasa-SP-4009).

European Space Agency (ESA). CDF study executive summary – Human missions to Mars: overall architecture assessment. Köln, 2004. CDF-20(C).

EZELL, Linda; EZELL, Edward. ***The partnership*****:** a history of the Apollo-Soyuz test project. Washington: Nasa, 1978. (Nasa-SP-4209).

FEARNSIDE, P.M. Desenvolvimento da floresta amazônica: problemas prioritários para formulação de diretrizes. Supl. **Acta Amazônica**, 9(4):123-129, 1979.

_____. Deforestation in brazilian Amazonia: the rates and causes of forest destruction. **The Ecologist**, 19(6):214-218, 1989.

FERRIS, Timothy. **O despertar na Via Láctea** – uma história da astronomia. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1990.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. Disponível em: www.uff.br/geoden/ (Módulo 2 – Reconhecimento de Feições). Acesso em 30 jan 2009.

FORWARD, Robert. The stars our destination? The feasibility of interstellar travel. ***The Planetary Report, Special Interstellar Flight Issue***, v. 23, n. 1, Jan./Feb. 2003.

FRASER, Gordon. ***Antimatter***: the ultimate mirror**.** Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

FRIEDMAN, Louis. ***Starsailing***: solar sails and interstellar travel. Hoboken: John Wiley & Sons, 1988.

_____. To the Stars. ***The planetary report, Special Interstellar Flight Issue,*** v. 23, n. 1, Jan./Feb. 2003.

GALILEU, Galilei. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico & copernicano.** São Paulo: Discurso Editorial/Fapesp, 2001.

_____. ***The sidereal messenger.*** Tradução de Edward Stafford Carlos. London: Dawsons of Pall Mall, 1880.

GARBER, Stephen J. ***Looking backward, looking forward: forty years of US human spaceflight symposium.*** Washington: Nasa (Nasa-SP-2002-4107).

GREENE, Brian. **O universo elegante.** São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

GRINSPOON, David H. ***Venus revealed***: a new look below the clouds of our mysterious twin planet. Nova York: Perseus Publishing, 1997.

_____. **Planetas solitários**: a filosofia natural da vida alienígena. São Paulo: Editora Globo, 2005.

HACKER, Burton C.; GRIMWOOD, James M. ***On the shoulders of titans***: a history of project Gemini. Washington: Nasa, 1977. (Nasa-SP-4203).

HARFORD, James K. ***Korolev's triple play***: Sputniks 1, 2, and 3. Washington: Nasa Headquarters – Sputnik 40th anniversary, 1997.

HEPPENHEIMER, T. A. ***The space shuttle decision*** – Nasa's search for a reusable space vehicle. Washington: Nasa, 1999. (Nasa-SP-4221).

HOFFERT, Martin I. et al. Advanced technology paths to global climate stability: energy for a greenhouse planet. ***Science***, v. 298, p. 981-7, 2002.

HOFFMAN, Stephen J.; KAPLAN, David I. (eds). ***Human exploration of Mars***: the reference mission of the Nasa Mars exploration study team. Houston: Nasa, 1997. (Nasa-SP-6017).

JEDICKE, Robert. Intermediate impact factors. ***Nature***, v. 420, p. 273-4, 2002.

KAKU, Michio. **Hiperespaço.** Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

_____. **Visões do futuro.** Rio de Janeiro: Rocco, 2001.

KANT, Immanuel. ***Universal natural history and theory of heaven.*** Trad. Ian C. Johnston. Nanaimo: [s.n], 1998.

KORYCANSKY, Donald G.; LAUGHLIN, Gregory; ADAMS, Fred C. Astronomical engineering: a strategy for modifying planetary orbits. ***Astrophysics and Space Science***, v. 275, p. 349-66, 2001.

KRAUSS, Lawrence M. **A física de Jornada nas estrelas.** São Paulo: Makron Books, 1997.

KRING, David A.; COHEN, Barbara A. Cataclysmic bombardment throughout the inner solar system 3.9-4.0 Ga. ***Journal of Geophysical Research*** (Planets), v. 107, n. E2, p. 4-1– 4-6, 2002.

LAUNIUS, Roger D. ***Sputnik and the origins of the space age.*** Washington: Nasa Headquarters – Sputnik 40th Anniversary, 1997.

LEWONTIN, Richard. **A tripla hélice.** São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

LINS DE BARROS, Henrique. **Santos Dumont e a invenção do vôo.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2003.

LOWELL, Percival. ***Mars.*** Boston: Houghton-Mifflin, 1895 (reedição eletrônica, Universidade da Virgínia, 2000).

MACEDO, Horácio. **Dicionário de Física**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1976.

MAGUEIJO, João. **Mais rápido que a velocidade da luz.** Rio de Janeiro: Editora Record, 2003.

MALIN, Michael; EDGETT, Kenneth S. Evidence for recent groundwater seepage and surface runoff on Mars. ***Science***, v. 288, p. 2330-5, 2000.

MAYER, Lucio et al. Formation of giant planets by fragmentation of protoplanetary disks. ***Science***, v. 298, p. 1756-9, 2002.

MAZANEK, Daniel C. et al. Comet/asteroid protection system (CAPS): A spacebased system concept for revolutionizing Earth protection and utilization of near-Earth objects. In: International Astronautical Congress, 53, 2002. Houston. ***Proceedings…*** Houston: AIAA, 2002.

MCKAY, Christopher P. e MARINOVA, Margarita M. The physics, biology, and environmental ethics of making Mars habitable. ***Astrobiology***, v. 1, p. 89-109, 2001.

MCKAY, David S. et al. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001. ***Science***, v. 273, p. 924-30, 1996.

MENDELL, W. W. ***Lunar bases and space activities of the 21st century.*** Houston: The Lunar and Planetary Institute, 1986.

MOLTZ, James Clay (ed.). ***Future security in space***: commercial, military, and arms control trade-offs. Monterey: Monterey Institute of International Studies, 2002.

MORSE, Mary Louise; BAYS, Jean Kernahan. ***The Apollo spacecraft chronology***, v. 2. Washington: Nasa, 1973. (Nasa-SP-4009).

MORRISON, David. Overview of the impact hazard. In: AAAS Annual Meeting, 169, Denver, 2003. ***Proceedings…*** Denver: AAAS, 2003.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **O livro de ouro do universo.** Rio de Janeiro: Ediouro, 2000.

_____. **A astronomia na época dos descobrimentos.** Rio de Janeiro: Lacerda Editores, 2000.

_____. **Astronáutica**: do sonho à realidade. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil , 1999.

MÜNKER, Carsten et al. Evolution of planetary cores and the Earth-Moon system from Nb/Ta systematics. ***Science***, v. 301, p. 84-7, 2003.

NAVARRO-GONZÁLEZ, Rafael et al. Mars-like soils in the Atacama desert, Chile, and the dry limit of microbial life. ***Science***, v. 302, p. 1018-21, 2003.

NOGUEIRA, Salvador. **Rumo ao infinito**: passado e futuro da aventura humana na conquista do espaço. São Paulo: Editora Globo, 2005.

_____. **Conexão Wright-Santos Dumont**: a verdadeira história da invenção do avião. Rio de Janeiro: Editora Record, 2006.

PORTREE, David S. F. ***Mir hardware heritage.*** Houston: Nasa, 1995. (Nasa-RP-1357).

PORTREE, David S. F.; TREVIÑO, Robert C. ***Walking to Olympus***: an EVA chronology. Washington: Nasa, 1997. (Nasa Monographs in Aerospace History Series #7).

PRESTON, Bob et al. ***Space weapons, Earth wars.*** Santa Monica: RAND, 2002.

RAEBURN, Paul. ***Mars***: uncovering the secrets of the red planet. Washington: National Geographic Society, 1998.

RANKIN, J.M. Manejo florestal ecológico. Supl. **Acta Amazônica**, 9(4):115-122, 1979.

REES, Martin. ***Our final hour.*** New York: Basic Books, 2003. Report by the International Space Station (ISS) Management and Cost Evaluation (IMCE). Task Force to the Nasa Advisory Council. 2001.

Report of the Task Force on potentially hazardous Near Earth Objects. London: British National Space Centre, 2000.

REIS, Norma Teresinha Oliveira; GARCIA, Nilson Marcos Dias. **Educação espacial no Ensino Fundamental: Uma proposta de trabalho com o princípio da ação e reação.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 361-371, 2006. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060103.pdf/. Acesso em: 30 jan 2009.

RUMERMAN, Judy A. U.S. ***human spaceflight, a record of achievement, 1961-1998.*** Washington: Nasa, 1998. (Nasa Monographs In Aerospace History Series #9).

SAGAN, Carl. **Pálido ponto azul.** São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

_____. **O mundo assombrado pelos demônios.** São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

_____. **Cosmos.** Rio de Janeiro: Editora Francisco Alves, 1983.

_____. **Bilhões e bilhões.** São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

SALATI, E. **O clima atual depende da floresta.** In: Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo: Ed.Brasiliense S.A., 1983. Cap. 1, p. 15-44.

SCHUBART, H.O.R.; FRANKEN, W.; LUIZÃO, F.J. Uma floresta sobre solos pobres. **Ciência Hoje**, 2(10):26-32, 1984.

SHEEHAN, William. ***The planet Mars*****:** a history of observation and discovery. Tucson: The University of Arizona Press, 1996.

SIDDIQI, Asif A. ***Deep space chronicle***: a chronology of deep space and planetary probes (1958-2000). Washington: Nasa, 2002. (Nasa Monographs in Aerospace History Series #24).

_____. ***Korolev, Sputnik, and the international geophysical year.*** Nasa Headquarters – Sputnik 40th Anniversary. Washington: Nasa, 1997.

SIGURDSSON, Steinn. A young white dwarf companion to pulsar B1620-26: evidence for early planet formation". **Science**, v. 301, p. 193-6, 2003.

SIMAAN, Arkan, FONTAINE, Joëlle. **A imagem do mundo.** São Paulo: Companhia das Letras, 2003.

SLOOP, John L. ***Liquid hydrogen as a propulsion fuel, 1945-1959.*** Washington: Nasa, 1978.

SMITHERMAN, David. ***Space elevators***: an advanced Earthspace infrastructure for the new millenium. Washington: Nasa, 2000.

SOMMER, Geoffrey. Policy frameworks for impact mitigation. In: AAAS Annual Meeting,169, 2003, Denver. ***Proceedings…*** Denver, AAAS, 2003.

SPITALE, Joseph N. Asteroid hazard mitigation using the Yarkovsky effect. ***Science***, v. 296, p. 77, 2002.

The Spaceguard Survey. Moffett Field: Nasa Ames Space Science Division, 1992.

SWENSON, Jr. Loyd S.; GRIMWOOD, James M.; ALEXANDER, Charles C. ***This new ocean***: a history of project Mercury. Washington: Nasa, 1966. (Nasa-SP-4201).

TERZIAN, Yervant; BILSON, Elizabeth (orgs.). **O universo de Carl Sagan.** Brasília: Editora UnB, 2001.

THE WORLD RESEARCH INSTITUTE. ***World resources 1990-1991.*** Oxford: Oxford University Press, 1990. 383 p.

TURNER, Russ. Human space flight — a matter of safety. ***Space News***, v. 12, n.26, p. 14, 2 July, 2001.

WALLACE, Alfred Russel. ***Is Mars habitable?*** Londres: Macmillan, 1907.

YEFFETH, Glenn (org.) **A pílula vermelha**: questões de ciência, filosofia e religião em Matrix. São Paulo: Publifolha, 2003.

YOUNG, Laurence R. The international space station at risk. ***Science***, v. 296, p. 429, 2002.

ZUBRIN, Robert. ***The case for Mars.*** Nova York: Free Press, 1996.

APÊNDICE

CONTEÚDOS COMPLEMENTARES

A presente coleção é composta de um conjunto de CDs com conteúdos complementares ao do livro Fronteira Espacial, volume Astronáutica, por meio de vídeos, CDs interativos e com imagens inéditas, tornando possível ao professor enriquecer, ainda mais, os conteúdos das suas aulas, nas diferentes áreas do conhecimento.

CD 1 – Da Terra ao Espaço: tecnologia e meio ambiente na sala de aula (documentários)

O CD reúne um conjunto de documentários desenvolvidos durante a produção da série Da Terra ao Espaço: tecnologia e meio ambiente na sala de aula para o Programa Salto para o Futuro, a partir de uma parceria entre a TV Escola/MEC e a AEB. Nossa proposta é que esses documentários, sobre os cinco temas abordados durante a série veiculada em diversas emissoras no período de 15 a 17 de maio de 2006, sejam utilizados como material de apoio aos professores em sala de aula. A seguir são relacionados os títulos dos programas que motivaram a produção desses documentários:

- O Programa Espacial Brasileiro e suas Ações de Ensino e Divulgação Científica;

- O Contexto Histórico das Atividades Espaciais e a Tecnologia dos Foguetes;
- Satélites e Plataformas Espaciais: tecnologia e aplicações;
- Satélites e o Meio Ambiente; e
- As Mudanças Climáticas.

CD 2 – Missão Centenário e Jogo "Missões Espaciais"

Esta obra visa apresentar como foi a experiência do astronauta Marcos Pontes na Estação Espacial Internacional (ISS). Este CD, elaborado pela Agência Espacial Brasileira (AEB), mostra o dia-a-dia na ISS – como se trabalha, a preparação da comida, o banheiro, como se toma banho e onde se dorme.

As imagens inéditas revelam a complexidade de uma estrutura habitável no espaço, a beleza da Terra descrita por Yuri Gagarin, bem como nos fazem refletir acerca da conquista do cosmo e do avanço da ciência. O CD traz ainda entrevistas com os astronautas Valery Tokarev, Pavel Vinogradov e William McArthur e trechos das conversas de Marcos Pontes com radioamadores brasileiros.

CD 3 – Satélites e seus subsistemas

Este projeto foi idealizado com o objetivo de levar ao conhecimento de professores e alunos, de forma lúdica, como se projeta, desenvolve, constrói, lança e monitora o funcionamento de um satélite no espaço, bem como outras informações importantes.

Esta proposta expande o escopo de projetos já desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e pelo Programa AEB Escola da Agência Espacial Brasileira (AEB) de fornecer ferramentas auxiliares de ensino com base em conteúdos pedagógicos de qualidade e com a utilização exaustiva de recursos de multimídia.

Com o auxílio de um narrador, um astronauta virtual, o CD oferece acesso às seguintes informações:

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

CD 4 – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca)

A origem deste projeto remonta a 1998 e foi co-financiado pela Fapesp (Melhoria do Ensino Público) e pela Vitae. A idéia original

era estudar como as modernas ferramentas de multimídia e Internet poderiam auxiliar a melhoria do ensino público. Numa parceria do Cptec/Inpe com a Unesp-Rio Claro, UFMG e UFV, vários tópicos em meio ambiente e ciências atmosféricas foram desenvolvidos. Neste CD foram desenvolvidos seis tópicos:

- Ciclo hidrológico;
- Clima urbano;
- Elementos climáticos;
- Interação vegetação-atmosfera;
- Previsão de tempo e clima;
- Radiação solar.

Nessa fase do projeto foram realizadas avaliações com alunos de três escolas públicas de Rio Claro, SP, e a ferramenta se mostrou efetiva para melhorar o aprendizado de alunos do ensino médio. Outro foco específico de audiência, para o CD Educacional, são os alunos das escolas agrotécnicas. Num projeto piloto, o Inpe instalou varias estações meteorológicas automáticas em escolas agrotécnicas, de modo a permitir que os alunos aprendessem a trabalhar com variáveis ambientais de forma aplicada à agricultura, complementando seus conteúdos curriculares.

O CD conta com recursos de bloco de anotações, marca-texto, busca por palavras-chaves – em que se apresentam todos os tópicos relacionados –, glossário e monitoramento de quanto tempo o usuário esteve em cada subtópico.

CD 5 – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca)

Este CD Educacional trouxe, além de dois novos tópicos – Medindo a precipitação e Satélites e Plataformas de Coleta de Dados –, ferramentas necessárias ao professor. Um Guia do Professor com todo o conteúdo didático, sugestões de experiências práticas, questionários visando quantificar a assimilação de conteúdo por parte dos usuários e *links* sobre os diversos assuntos abordados

nos tópicos deste CD e do anterior. Conta com os mesmos recursos do CD anterior.

Um aplicativo foi desenvolvido para se trabalhar com dados históricos de Plataformas de Coleta de Dados, o VisPCD, mas ele foi descontinuado, pois no sítio do Cptec os recursos puderam ser atualizados e outros implementados, dando a oportunidade de se trabalhar com todos os dados históricos presentes no Banco de Dados do Cptec, o que não acontecia com o aplicativo, que ficava residente no micro do usuário, ocupando espaço, sem dados atualizados, forçando o usuário a entrar no sítio e baixar sempre uma atualização, que deveria ser convertida para o formato específico do aplicativo.

CD 6 – Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas (Maca) – Utilização de recursos multimídia para os ensinos médio e fundamental

Esta proposta dá continuidade e expande substancialmente o escopo da proposta anterior, apoiada pela Vitae, 1997–2000, "Tecnologias Agrometeorológicas no Ensino Agrotécnico". Como na proposta anterior, pretende-se que os técnicos formados nas escolas agrícolas venham a incorporar, na sua qualificação profissional, competências específicas nas áreas científicas e tecnológicas por meio da inclusão de temas de grande relevância para o processo produtivo e também para uma formação voltada à preservação ambiental. Além disso, deseja-se que as escolas técnicas contempladas neste projeto venham a contribuir, efetivamente, para o aprimoramento quantitativo e qualitativo da produção agropecuária nas suas microrregiões, inclusive nas próprias escolas, bem como disseminem práticas sustentáveis de desenvolvimento agrícola. Pretende-se que o modelo pedagógico adotado nestas escolas e os técnicos por elas formados sirvam de exemplo para a expansão do uso das modernas tecnologias agrometeorológicas e meteorológicas em toda a rede de ensino agrícola do País.

Baseado nas expectativas da própria comunidade, desenvolveu-se a ampliação temática com os seguintes tópicos:

- Solos e erosão;
- Balanço de energia;
- Movimentos na atmosfera;
- Doenças de plantas e o clima;
- *El Niño* e *La Niña*;
- Satélites na agricultura;
- Inter-relação clima e relevo;
- Sensoriamento remoto; e
- Balanço hídrico.

CD 7 – Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica

O CD apresenta mais de 250 imagens de diversos satélites, fotos da superfície da Terra, globo 3D e vídeos. O Atlas permite visualizar as características físicas, econômicas, políticas e humanas de todos os países da América do Sul e 21 ecossistemas, por meio de imagens de satélite e fotos de campo. Ele traz também informações sobre os fundamentos de sensoriamento remoto, programas espaciais e estações terrenas de recepção de dados de satélites.

Estes CDs são compatíveis com os sistemas operacionais Microsoft Windows, Macintosh e Linux.

Configuração mínima recomendada:

Pentium III 400MHz, 64 Mb RAM, CD-ROM 48X, Resolução de 800X600, placa de áudio.

PROGRAMA AEB ESCOLA – VIAJE NESSA IDÉIA !

Qual criança não sonha em entrar em uma nave espacial e conhecer planetas distantes em uma viagem fantástica rumo ao desconhecido? Para alcançar esse sonho é que, desde os primórdios, o ser humano busca alcançar as estrelas.

De uma maneira lúdica e multidisciplinar, o Programa AEB Escola, da Agência Espacial Brasileira (AEB), divulga o Programa Espacial Brasileiro para alunos dos Ensinos Médio e Fundamental de todo o País e contribui para despertar nos jovens o interesse pela ciência e tecnologia espaciais.

Com dois focos que se complementam, o AEB Escola trabalha na formação continuada de professores, estimulando o tema espacial como debate e conhecimento para as aulas e outras ações educativas, e com atividades que estimulem diretamente o interesse dos jovens sobre o tema, por meio de uma olimpíada nacional, além da participação em eventos de divulgação científica.

A produção de material didático constitui-se na ação central do Programa por permear as diferentes frentes de trabalho. É fruto de um esforço coletivo de inúmeras instituições comprometidas com a melhoria da qualidade da educação no país e conta com a colaboração de cientistas e pesquisadores que produzem o conhecimento de ponta na área.



Acervo AEB.

Figura 1. Exposição interativa do Programa AEB Escola apresentada durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT), realizada em Brasília, DF.



Acervo AEB.

Figura 2. Professores realizando atividade prática "Relógio Solar" durante o módulo "Astronomia em Sala de Aula" da Formação Continuada de Professores em Brasília, DF.

Dentre os instrumentos utilizados pelo Programa, destacam-se as oficinas, palestras, exposições, cursos e concursos, nos quais se procura associar conteúdos vivenciados em sala de aula com a temática espacial.

Essa fórmula já conquistou milhares de professores e estudantes que atualmente desenvolvem com maior freqüência atividades em sala de aula voltadas para a área espacial, despertando futuras gerações de pesquisadores e contribuindo para melhorar a educação brasileira.

Formação continuada de professores

O educador é uma das prioridades do Programa. De forma gratuita, o AEB Escola oferece cursos de capacitação a professores, com o intuito de promover um conjunto de ferramentas para o enriquecimento de conteúdos das diferentes disciplinas ministradas na escola. Uma constatação é inegável: a área espacial é um poderoso tema transversal que pode estar presente em qualquer momento da formação do estudante brasileiro.

A formação continuada visa desenvolver, nos educadores, competências e habilidades para trabalhar com conteúdos de ciência e de tecnologia relacionados à área espacial. Os cursos abordam,

também, estratégias didáticas para a transposição desses conteúdos para a sala de aula.

Atualmente, o AEB Escola realiza o curso Astronáutica e Ciências do Espaço, que é constituído pelos módulos:

- Experimentos Didáticos de Astronomia em Sala de Aula;
- Satélites e Plataformas Espaciais;
- Veículos Espaciais;
- Sensoriamento Remoto;
- Meteorologia e Ciências Ambientais.



Acervo AEB.

Figura 3. Professores realizando atividade prática "Construindo uma Luneta", no módulo "Astronomia em Sala de Aula" da Formação Continuada de Professores em Brasília, DF.



Acervo AEB.

Figura 4. Professores conhecendo o conteúdo dos CDs interativos durante a Formação Continuada de Professores em Brasília, DF.

Ao investir na formação continuada, o Programa AEB Escola une o útil ao necessário. Em primeiro lugar assegura a sustentabilidade do Programa por meio da formação de disseminadores; em segundo leva o tema das ciências do espaço ao contexto escolar.

Material didático

A produção de material didático e paradidático visa auxiliar professores dos Ensinos Médio e Fundamental na sua prática pedagógica. Tem por objetivo apresentar temas atuais e atraentes em linguagem clara e objetiva, com base científica, abordagem interdisciplinar e contextualizada. Esse material oferece ferramentas de apoio ao desenvolvimento de atividades criativas, que estimulam



Acervo AEB.

Figura 5. O Material didático do Programa é composto por manuais, CDs e DVDs.

o pensamento crítico e despertam o interesse pela ciência e tecnologia.

O *kit* do Curso "Astronáutica e Ciências do Espaço" é constituído de manuais e CDs interativos, sendo distribuído para os participantes do Curso e para professores de todo o país que se interessem em atuar como disseminadores do Programa.

O material didático pode ser requisitado de forma gratuita com a coordenação do AEB Escola.

Participação em eventos de divulgação científica



Acervo AEB.

Figura 6. Exposição interativa do Programa AEB Escola apresentada durante a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT), realizada em Brasília, DF.

O Programa AEB Escola tem investido continuamente na interação entre instituições ligadas à área espacial e escolas. Esse esforço, efetivado com a participação em eventos de divulgação científica e outras iniciativas de estímulo ao aluno, justifica e dá sentido às ações de formação continuada de professores e às diversas parcerias para a elaboração de materiais didáticos. O Programa AEB Escola existe para divulgar os avanços e conquistas do Programa Espacial Brasileiro, estimulando a formação de futuros cientistas e pesquisadores.

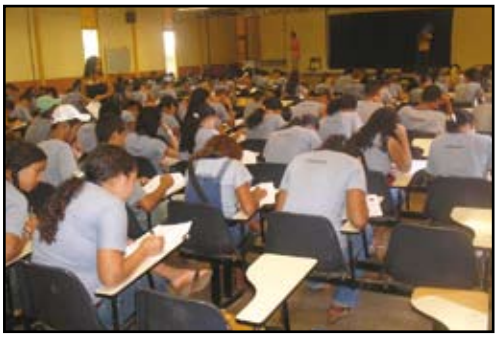
Todos os anos o AEB Escola é presença constante em exposições como a Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) e Dia Mundial da Ciência pela Paz e pelo Desenvolvimento, além de feiras e eventos regionais de divulgação científica.

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA)

Mais de 1 milhão de estudantes já realizaram as provas da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA) nos últimos quatro anos em todo o Brasil. A OBA é um evento organizado pela Agência Espacial Brasileira (AEB) e pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB). Seu objetivo é popularizar o ensino de astronomia e de astronáutica (Ciências Espaciais) junto a professores e estudantes de todo o País. A OBA trabalha para gerar uma integração entre a comunidade científica e a estudantil.

Todos os anos, a comissão organizadora da OBA envia às escolas cadastradas material didático sobre os temas que deverão ser abordados nas provas. Esse material é constituído por um CD de apresentação da Olimpíada e com indicações de experimentos didáticos para o ensino de Astronomia, Astronáutica e Física; além de revistas sobre o tema, como a Espaço Brasileiro, produzida pela AEB, e a Ciência Hoje. Compõem também o material CDs com conteúdos interativos, livros, fôlderes, cartazes e dobraduras.

Apesar de ser uma Olimpíada, a OBA não tem o objetivo de estimular a competição, e, sim, o aprendizado. Por isso, os enunciados das questões são elaborados de modo a levar informações sobre os temas propostos, o que permite reflexões e contribui para a formação dos alunos e dos professores.



Acervo AEB.

Figura 7. Alunos do CEM 01 de Planaltina, DF, realizando a prova da OBA.



Acervo AEB.

Figura 8. Alunos realizando a atividade prática da Obfog durante a OBA.

Além de aplicar as provas, a organização da OBA propõe todos os anos uma atividade prática para ser desenvolvida em sala de aula. Com base nos registros e observações feitos ao longo da realização dos experimentos, os participantes podem optar por responder uma questão da prova relacionada com as observações feitas. O intuito é contribuir para que a cultura da pesquisa e da observação faça parte do dia-a-dia das escolas.

Outra atividade experimental promovida pela OBA é a Olimpíada Brasileira de Foguetes (Obfog), que consiste na proposição de desafios para a construção e lançamento de foguetes.

Todos os alunos e professores envolvidos no processo recebem certificados, como forma de valorizar a iniciativa nas escolas. Também são distribuídas cerca de 20 mil medalhas, com o mesmo propósito. Para os alunos que se destacam nos conteúdos de Astronomia, é oferecido um curso de atualização pela Sociedade Astronômica Brasileira, a partir do qual é selecionada a equipe que representa o Brasil na Olimpíada Internacional de Astronomia. Os alunos que se destacam nas questões de Astronáutica participam da Jornada Espacial, um curso avançado sobre ciências espaciais promovido pela Agência Espacial Brasileira. Além disso, aos professores destes alunos também são oferecidos cursos de atualização em Astronomia e Astronáutica.

A Jornada Espacial

Um dos objetivos da OBA é contribuir para a revelação de novos talentos para a carreira científica, permitindo aos jovens o contato com pesquisadores das áreas de Astronomia e Astronáutica – com o objetivo de conhecerem o cotidiano das profissões nestas áreas ou em ciências afins.

A Jornada Espacial é mais uma iniciativa de incentivo à vocação de jovens talentos para a área espacial. Dela participam

estudantes de diferentes estados com melhor desempenho nas questões de Astronáutica da OBA, juntamente com seus professores. A participação dos professores na Jornada Espacial tem como principal objetivo contribuir para a formação de disseminadores das ações do Programa AEB Escola nas diversas regiões do País.

A Jornada Espacial é realizada, anualmente, em São José dos Campos, SP, onde se localiza um importante pólo da pesquisa e da indústria aeroespacial brasileira. Os participantes da Jornada têm a oportunidade de conhecer as instituições vinculadas à área espacial e interagir com pesquisadores e técnicos que nelas atuam, proporcionando, assim, um rico ambiente de troca de experiência e de informações.



Acervo AEB.

Figura 9. Alunos e professores participando da atividade prática "Lançamento de Foguetes" realizada no MAB, durante a Jornada Espacial em São José dos Campos, SP.



Acervo AEB.

Figura 10. Professores em visita ao Centro de Visitantes do Inpe, durante a Jornada Espacial em São José dos Campos, SP.

Gestão

As ações do Programa AEB Escola vêm se consolidando a partir da integração de ações de instituições públicas e privadas, por se acreditar que as ações em cooperação tornam o processo mais eficiente, reduzindo seus custos e estendendo os benefícios para um número maior de pessoas.

Sua instituição e o Programa AEB Escola

O Programa AEB Escola está aberto a parcerias com instituições públicas e privadas e tem a oferecer resultados de grande visibilidade e apelo social. Suas ações podem chegar a cada sala de aula do Brasil. Para isso, o Programa precisa de parceiros com visão de futuro e preocupação com os rumos de nossa educação. Parceiros apaixonados pela divulgação da ciência e tecnologia, com ênfase nas ciências do espaço.

Informe-se sobre as possibilidades de incluir sua instituição ou empresa na relação de apoiadores e parceiros do Programa AEB Escola.

Agência Espacial Brasileira (AEB)
Programa AEB Escola
SPO – Área 5 – Quadra 3 – Bloco Q – Salas 3 a 9
CEP: 70610-200 Brasília (DF)
Fone: (61) 3411-5024 / 3411-5678
E-mail: aebescola@aeb.gov.br