

SÉRIE SUSTENTABILIDADE

JOSÉ GOLDEMBERG

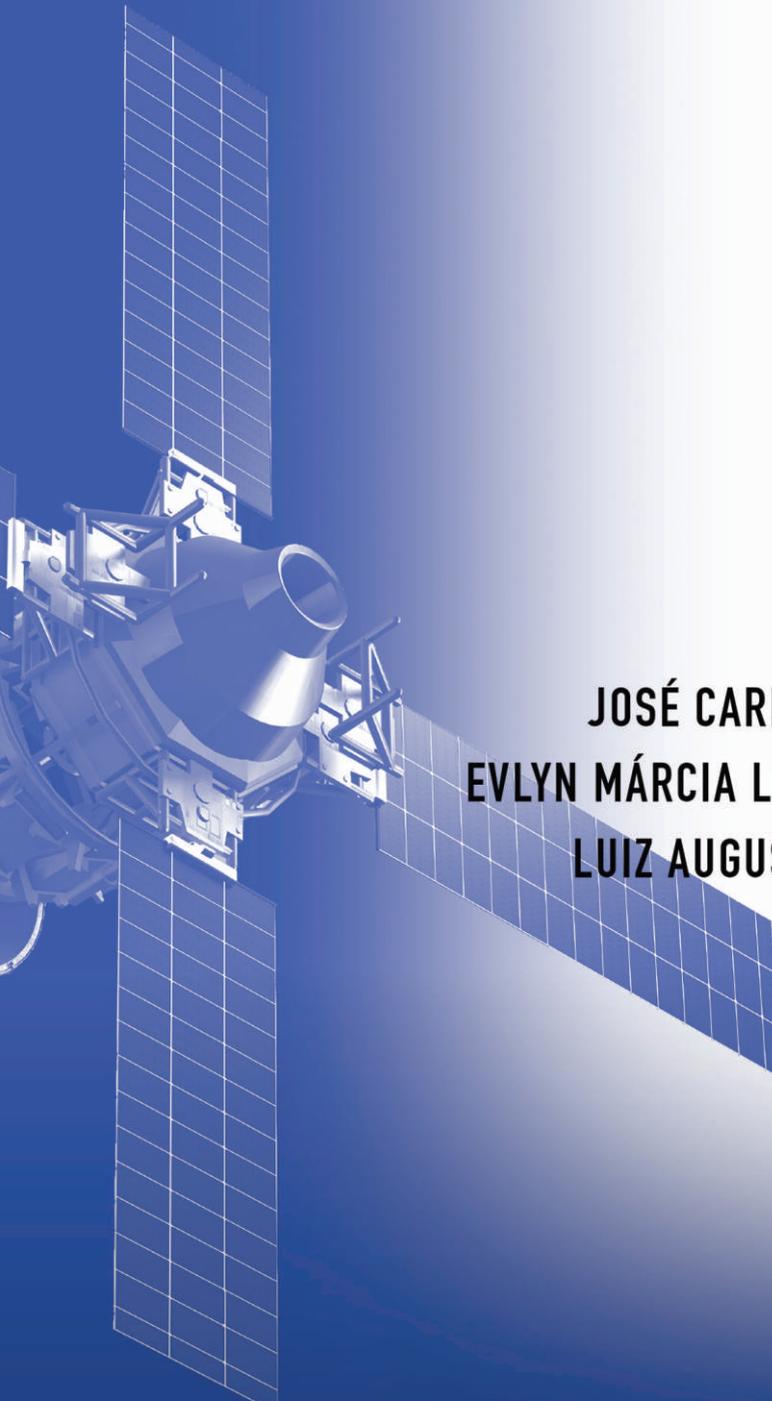
COORDENADOR

8

Espaço

JOSÉ CARLOS NEVES EIPHANIO
EVLYN MÁRCIA LEÃO DE MORAES NOVO
LUIZ AUGUSTO TOLEDO MACHADO

Blucher



SÉRIE SUSTENTABILIDADE

Espaço

Blucher

SÉRIE SUSTENTABILIDADE

JOSÉ GOLDEMBERG

Coordenador

Espaço

VOLUME 8

**JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO
EVLYN MÁRCIA LEÃO DE MORAES NOVO
LUIZ AUGUSTO TOLEDO MACHADO**

Espaço
© 2010 José Carlos Neves Epiphânio
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo
Luiz Augusto Toledo Machado
Editora Edgard Blücher Ltda.



Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1.245, 4º andar
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil
Tel.: 55 (11) 3078-5366
editora@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios, sem autorização escrita da Editora.

Todos os direitos reservados pela
Editora Edgard Blücher Ltda.

Ficha Catalográfica

Epiphânio, José Carlos Neves
Espaço / José Carlos Neves Epiphânio, Evlyn
Márcia Leão de Moraes Novo, Luiz Augusto
Toledo Machado. -- São Paulo: Blucher, 2010. --
(Série sustentabilidade; v. 8 / José
Goldemberg, coordenador)

ISBN 978-85-212-0572-2

1. Desenvolvimento sustentável 2. Exploração
espacial (Astronáutica) 3. Tecnologia espacial
4. Vôos espaciais I. Novo, Evlyn Márcia Leão de
Moraes. II. Machado, Luiz Augusto Toledo.
III. Goldemberg, José. IV. Título. V. Série.

10-12159

CDD-629.435

Índices para catálogo sistemático:

1. Exploração espacial: Espaço exterior:
Tecnologia

629.435

Apresentação

Prof. José Goldemberg

Coordenador

O conceito de desenvolvimento sustentável formulado pela Comissão Brundtland tem origem na década de 1970, no século passado, que se caracterizou por um grande pessimismo sobre o futuro da civilização como a conhecemos. Nessa época, o Clube de Roma – principalmente por meio do livro *The limits to growth* [*Os limites do crescimento*] – analisou as consequências do rápido crescimento da população mundial sobre os recursos naturais finitos, como havia sido feito em 1798, por Thomas Malthus, em relação à produção de alimentos. O argumento é o de que a população mundial, a industrialização, a poluição e o esgotamento dos recursos naturais aumentavam exponencialmente, enquanto a disponibilidade dos recursos aumentaria linearmente. As previsões do Clube de Roma pareciam ser confirmadas com a “crise do petróleo de 1973”, em que o custo do produto aumentou cinco vezes, lançando o mundo em uma enorme crise financeira. Só mudanças drásticas no estilo de vida da população permitiriam evitar um colapso da civilização, segundo essas previsões.

A reação a essa visão pessimista veio da Organização das Nações Unidas que, em 1983, criou uma Comissão presidida pela Primeira Ministra da Noruega, Gro Brundtland, para analisar o problema. A solução proposta por essa Comissão em seu relatório final, datado de 1987, foi a de recomendar um padrão de uso de recursos naturais que atendessem às atuais necessidades da humanidade, preservando o meio ambien-

te, de modo que as futuras gerações poderiam também atender suas necessidades. Essa é uma visão mais otimista que a visão do Clube de Roma e foi entusiasticamente recebida.

Como consequência, a Convenção do Clima, a Convenção da Biodiversidade e a Agenda 21 foram adotadas no Rio de Janeiro, em 1992, com recomendações abrangentes sobre o novo tipo de desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, em particular, teve uma enorme influência no mundo em todas as áreas, reforçando o movimento ambientalista.

Nesse panorama histórico e em ressonância com o momento que atravessamos, a Editora Blucher, em 2009, convidou pesquisadores nacionais para preparar análises do impacto do conceito de desenvolvimento sustentável no Brasil, e idealizou a *Série Sustentabilidade*, assim distribuída:

1. **População e Ambiente: desafios à sustentabilidade**
Daniel Joseph Hogan/Eduardo Marandola Jr./Ricardo Ojima
2. **Segurança e Alimento**
Bernadette D. G. M. Franco/Silvia M. Franciscato Cozzolino
3. **Espécies e Ecossistemas**
Fábio Olmos Corrêa Neves
4. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**
José Goldemberg
5. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**
Vahan Agopyan/Vanderley Moacyr John
6. **Metrópoles e o Desafio Urbano Frente ao Meio Ambiente**
Marcelo de Andrade Romero/Gilda Collet Bruna
7. **Sustentabilidade dos Oceanos**
Sônia Maria Flores Giancesella/Flávia Marisa Prado Saldanha-Corrêa
8. **Espaço**
José Carlos Neves Epiphânio/Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo/Luiz Augusto Toledo Machado
9. **Antártica e as Mudanças Globais: um desafio para a humanidade**
Jefferson Cardia Simões/Carlos Alberto Eiras Garcia/Heitor Evangelista/Lúcia de Siqueira Campos/Maurício Magalhães Mata/Ulisses Franz Bremer
10. **Energia Nuclear e Sustentabilidade**
Leonam dos Santos/João Roberto Loureiro de Mattos

O objetivo da *Série Sustentabilidade* é analisar o que está sendo feito para evitar um crescimento populacional sem controle e uma industrialização predatória, em que a ênfase seja apenas o crescimento econômico, bem como o que pode ser feito para reduzir a poluição e os impactos ambientais em geral, aumentar a produção de alimentos sem destruir as florestas e evitar a exaustão dos recursos naturais por meio do uso de fontes de energia de outros produtos renováveis.

Este é um dos volumes da *Série Sustentabilidade*, resultado de esforços de uma equipe de renomados pesquisadores professores.

Referências bibliográficas

MATTHEWS, Donella H. et al. *The limits to growth*. New York: Universe Books, 1972.

WCED. *Our common future*. Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press, 1987.

Prefácio

*José Carlos Neves Epiphanyo
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo
Luiz Augusto Toledo Machado*

O espaço exterior à Terra tem sido objeto de admiração pelo homem há milênios. O seu estudo e observação a partir da Terra, sem instrumentação, ocorre há muitos séculos, mas de uma forma sistemática e instrumentada, há apenas alguns séculos. Porém, somente há algumas décadas é que o homem passou a colocar artefatos no espaço para o estudo mais aprofundado do universo e também para auxílio da sua vida na Terra. E, hoje, é quase inimaginável que consigamos viver sem o auxílio dos instrumentos que estão no espaço: televisão, comunicação, transporte aéreo, previsão do tempo, sistemas posicionamento global, monitoramento e estudo do planeta e seus recursos etc. Assim, com esse domínio do espaço, o homem conseguiu ampliar em muito sua capacidade de uso e entendimento tanto do universo exterior como da própria Terra.

Portanto, para escrever sobre “espaço” foi necessário que se delimitasse o escopo do texto. Assim, este livro trata de uma pequena parte das atividades do homem relacionadas ao espaço, que é aquela relacionada ao sensoriamento remoto e à meteorologia. Para tanto, procurou-se traçar um histórico do empreendimento humano perseguido a duras penas – com sucessos e fracassos, ousadia e competição – rumo à conquista do espaço, com todas as consequências benéficas ao homem moderno.

Após esse panorama científico-tecnológico histórico, mostra-se como o Brasil inseriu-se nesse empreendimento e como o País está organizado para continuar sua empreitada nos vários segmentos espaciais, notadamente quanto à meteorologia e à observação da Terra. Mostra-se de forma abrangente a cooperação com China na construção e operação do principal programa de observação da Terra do País – os satélites CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres).

Depois, fornecem-se as bases conceituais teóricas para a meteorologia e o sensoriamento remoto, em que se apresentam as principais variáveis e métodos utilizados nesses dois grandes campos do conhecimento. Isso é feito de modo sucinto, porém abrangente.

Nas partes finais do livro apresentam-se exemplos de aplicações práticas dos sistemas espaciais e seus benefícios para a meteorologia e observação da Terra. Descrevem-se casos do uso de satélites para previsão do tempo, monitoramento de desflorestamento, detecção de queimadas etc.

O País tem um vasto horizonte para o crescimento no segmento espacial. Tendo dimensões continentais, uma costa de mais de 8.000 quilômetros, uma imensa diversidade biofísica, uma população em contínuo processo de amadurecimento educacional, o Brasil só tem a ganhar com um programa espacial à altura de sua complexidade.

Conteúdo

1 Observando a Terra do espaço – elementos históricos, 15

- 1.1* O significado da tecnologia espacial, 15
- 1.2* Geopolítica e tecnologia espacial – o papel das guerras do século XX no avanço da tecnologia espacial, 17
 - 1.2.1* Da teoria à tecnologia, 23
 - 1.2.2* Os primórdios da exploração do espaço, 28
 - 1.2.3* A corrida espacial e a conquista da Lua, 35
 - 1.2.4* A tecnologia espacial como indutora de avanço científico – do cosmo ao genoma, 45
- 1.3* O Brasil na história da tecnologia: a história da criação do Inpe, 47
 - Referências bibliográficas, 54

2 Satélites meteorológicos, ambientais e de sensoriamento remoto, 57

- 2.1* Satélites meteorológicos e ambientais, 57
 - 2.1.1* Órbitas de satélites meteorológicos e ambientais, 58
 - 2.1.2* Os satélites meteorológicos e ambientais – a nova geração, 61

- 2.2 O que se mede e o que se monitora, 64
 - 2.2.1 A radiação eletromagnética, 65
 - 2.2.2 A imagem de satélite, 70
- 2.3 Satélites de sensoriamento remoto ou de observação da Terra, 71
- 2.4 Sensoriamento remoto da superfície, 75
 - 2.4.1 Grandezas radiométricas básicas, 79
 - 2.4.2 Obtenção das propriedades dos objetos, 81
 - 2.4.3 Sistemas ópticos, 85
 - 2.4.4 Sistemas ativos, 88
- Referências bibliográficas, 93

3 O programa espacial brasileiro, 95

- 3.1 Introdução, 95
- 3.2 Estrutura do programa espacial brasileiro, 97
- 3.3 O segmento espacial e de solo – aplicações, 99
 - 3.3.1 Os satélites, 100
 - 3.3.1.1 As plataformas, 101
 - 3.3.1.2 As cargas úteis, 104
 - 3.3.2 Sistema solo – aplicações, 106
- 3.4 Satélite de Coleta de Dados (SCD), 106
- 3.5 Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (Cbbers), 108
 - 3.5.1 Características gerais, 110
 - 3.5.2 As câmeras imageadoras, 112
 - 3.5.3 Sistema de solo, processamento e distribuição, 116
 - 3.5.4 Aplicações do Cbbers, 117
- 3.6 Satélite Amazônia-1, 119
- 3.7 Conclusão, 120
- Referências bibliográficas, 121

4 Aplicações, 125

4.1 Introdução, 125

4.2 Agricultura, 126

4.2.1 Aspectos agrícolas, 127

4.2.2 Variáveis de interesse, 133

4.3 Desflorestamento e queimadas, 137

4.4 Estimativa de parâmetros atmosféricos e ambientais, 143

4.4.1 Estimativa da precipitação, 143

4.4.2 Estimativa do vento com a utilização de satélites meteorológicos, 146

4.4.3 Estimativa de perfis de temperatura e umidade, 148

4.5 Previsão de tempo, 150

4.6 Conclusão, 154

Referências bibliográficas, 154

1 Observando a Terra do espaço – elementos históricos

1.1 O significado da tecnologia espacial

O impacto da tecnologia espacial sobre a história humana ainda não foi totalmente avaliado. No século XXI, as atividades espaciais afetam a vida diária de bilhões de pessoas de vários modos. Como muitos produtos estão profundamente difundidos no modo de vida do século XXI, não nos damos conta de que sua origem esteve vinculada ao desafio científico de primeiro vencer a gravidade, depois controlar aeronaves e espaçonaves intrinsecamente instáveis à distância. Hoje, os sistemas espaciais desempenham diversas funções importantes para as sociedades humanas, seja no tocante às atividades de segurança nacional, comunicação governamental, corporativa e pessoal, ao uso comercial de sistemas de navegação e posicionamento, a sistemas de previsão de tempo, sistemas de previsão de safras, sistemas de monitoramentos por sensoriamento remoto, sem mencionar a abertura de novas janelas para a observação do universo.

Essas atividades não são significativas apenas pelo seu impacto direto sobre a sociedade, mas também pelos desafios intelectuais e tecnológicos que representaram e continuam representando, o que as torna fonte de inovação com consequências que estão além do setor espacial. O Conselho Nacional de Ciência (National Research Council) dos Estados Unidos recomendou recentemente o fortalecimento da pesquisa

científica e da pesquisa em engenharia espacial para manter o fluxo de novas ideias e seu estímulo à atividade econômica (NRC, 2007). Portanto, o desenvolvimento de tecnologia espacial também despertou para o significado do desenvolvimento científico e tecnológico como fator de desenvolvimento econômico. As nações que investiram frações significativas de seu Produto Interno Bruto em ciência, e particularmente em ciência e tecnologia espacial (Estados Unidos, Japão, União Soviética, Coreia, China e Índia), consolidaram-se como potências tradicionais ou emergentes.

A humanidade encontra-se inserida na chamada **era da informação** – período da história contemporânea caracterizado pela rápida movimentação de pessoas e mercadorias no espaço geográfico, e pela transferência quase instantânea de informação entre lugares, independentemente das distâncias envolvidas. Essa era começou com os satélites de comunicação e se consolidou a partir de 1990 com a ampliação do acesso à internet. Se fosse possível mapear o DNA dos grandes avanços científicos do século XX, provavelmente seria demonstrado que estes compartilham, em algum grau, os “genes” da chamada pesquisa espacial e de seus desdobramentos tecnológicos. A leitura atenta da história da era espacial (NASA, 1961; TOMAYKO, 2000; RUMERMAN, 2009) mostra que não houve área do conhecimento humano que não tenha sido arejada pela pesquisa espacial, sobretudo porque esse grande empreendimento do século XX mudou o modo de fazer ciência e tecnologia. E, inegavelmente, mudou a percepção humana do mundo e de seus modos de explorar a realidade.

De modo bem simplificado, pode-se dizer que a tecnologia espacial amplificou os sentidos humanos. Com sensores a bordo de satélites de observação da Terra, o homem consegue olhar mais longe e abarcar, num único instante, amplas regiões da superfície terrestre. Com esse novo olhar, o homem pode perceber conexões entre eventos distantes no espaço e conceber o planeta, não mais como uma colcha de retalhos, mas como um sistema. Ele consegue também ampliar a faixa espectral de sensibilidade, tornando possível a percepção de radiações para além do visível, o que lhe tornou possível, efetivamente, ver o invisível.

Com os satélites de comunicação o homem também amplificou sua capacidade de ouvir e ser ouvido, de ver e de ser visto, e, com isso, intensificaram-se as interações e trocas de informação entre quaisquer pontos da superfície terrestre. As noções de tempo e espaço relativo

e de conectividade tornaram-se mais relevantes do que as de espaço absoluto.

Os satélites de posicionamento global permitiram ao homem ampliar sua capacidade de orientação espacial, tornando-o capaz de se posicionar conscientemente no território percorrido e, portanto, aumentando sua capacidade de atuar racionalmente sobre ele. Questões caras ao século XXI, como a capacidade de suporte do planeta em face do crescimento econômico, mudanças climáticas, teleconexões e aquecimento global, entre outras, nem ao menos teriam sido pensadas, se não fosse pelo alcance dessa nova forma de olhar o mundo.

1.2 Geopolítica e tecnologia espacial – o papel das guerras do século XX no avanço da tecnologia espacial

A história da conquista do espaço até a segunda metade do século XX foi conduzida por duas nações como parte das disputas pela hegemonia bélica, econômica e ideológica do planeta: os Estados Unidos da América (EUA) e a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS).

A mais complexa luta do século XX foi a Guerra Fria, que alimentou, de certa forma, o programa espacial, uma vez que militares de ambos os blocos competiram por vantagens geopolíticas, influência política e superioridade tecnológica.

Ainda na década de 1950, União Soviética e Estados Unidos anunciaram a intenção de avanço do conhecimento sobre o espaço como parte de seus planos de expansão de poder político. Quando os primeiros satélites e cargas úteis foram lançados, o discurso oficial foi o de que o objetivo dessas ações era puramente científico. Entretanto, a interpretação corrente é a de que ambos os países estavam usando seus programas espaciais como demonstração do poder das ideologias que defendiam: o socialismo soviético e o capitalismo norte-americano. Os soviéticos usaram seu sucesso inicial para ganhar o apoio de países europeus para o bloco oriental, enquanto os Estados Unidos tornaram-se o polo do bloco ocidental, embora tivessem incluído em sua esfera de influência os países que viriam a se tornar nos anos 1990 os chamados tigres asiáticos.

No século XXI, alguns analistas sugerem que outra corrida espacial está sendo gestada, agora entre a China e os Estados Unidos. Desde o início do programa espacial da China, o modelo adotado envolveu pioneirismo, desenvolvimento, reforma, revitalização e cooperação internacional. A indústria chinesa foi desenvolvida a partir de uma infraestrutura industrial, científica e tecnológica praticamente inexistente. Em meio século, a China alcançou o nível de um dos países mais avançados no tocante à recuperação de satélites, sistemas de lançamento múltiplo de satélites, propulsão criogênica, satélites geoestacionários, sistemas de rastreamento e controle de satélites, satélites de sensoriamento remoto e telecomunicações, experimentos em microgravidade e desenvolvimento de naves espaciais tripuladas. O Partido Comunista Chinês anunciou o envio de uma missão à Lua por volta de 2020, o que levou a Nasa a retomar seu programa de missões tripuladas à Lua, com a previsão de retornar ao solo lunar em 2020.

Enquanto o conhecimento sobre a história norte-americana da conquista do espaço encontra-se bem documentado e público, a história das conquistas soviéticas ainda é bastante fragmentada, como fragmentada se tornou a própria união após a queda do muro de Berlim em 1989. Grande parte do avanço do conhecimento básico e da tecnologia dessas duas nações tem sua origem nos avanços científicos e tecnológicos oriundos de outra disputa de poder, aquela que se deu durante a Segunda Guerra Mundial entre as potências do Eixo, lideradas pela Alemanha e as nações aliadas, que temporariamente colocaram lado a lado Estados Unidos e União Soviética. A aliança estratégica entre esses dois países contra as potências do Eixo terminou com o fim da guerra, quando inicialmente protagonizaram a disputa homem a homem pelo espólio científico da Alemanha e, depois, a disputa pela conquista do espaço.

Segundo Bille e Lishock (2004), ao término da Segunda Guerra Mundial, cerca de 10 toneladas de documentos foram transportados para os Estados Unidos, incluindo projetos, relatórios, registros de produção e resultados de testes de lançadores. Mas o mais importante foi a transferência para a América dos responsáveis pelo desenvolvimento das pesquisas e da tecnologia de foguetes. O fim da guerra marcou o início da Guerra Fria, caracterizada pela corrida armamentista, pela propaganda ideológica e pela busca do domínio de tecnologias estratégicas, dentre as quais, a tecnologia espacial.

O primeiro passo dessa disputa tivera início antes do fim da guerra, com a disputa pelo domínio da tecnologia desenvolvida na Alemanha. Os relatos históricos indicam que, nessa disputa, os Estados Unidos levaram vantagem, pois conseguiram contratar Wernher von Braun e sua equipe para trabalharem no desenvolvimento de mísseis para as forças armadas norte-americanas. Wernher von Braun fora o responsável pelo desenvolvimento dos mísseis balísticos para as forças armadas germânicas durante a guerra e detinha conhecimentos estratégicos que foram rapidamente aproveitados primeiro pelo exército norte-americano e, posteriormente, com a criação da Nasa em 1958, para o desenvolvimento da geração de lançadores que possibilitaram a chegada do homem à Lua.

A Nasa foi criada no contexto da Guerra Fria para dar visibilidade às aplicações civis dos produtos desenvolvidos por motivos de segurança nacional. Os Estados Unidos, por não terem combatido em seu próprio território, ao contrário da União Soviética, que teve de investir em ampla reconstrução de sua infraestrutura, saíram fortalecidos da Guerra. O Produto Interno Bruto (PIB) norte-americano passou de 200 bilhões de dólares durante o período da guerra, para 300 bilhões em 1950 e meio trilhão de dólares em 1960, o que lhe permitiu o financiamento dessa grande aventura. Enquanto isso, a União Soviética estava se recuperando da imensa devastação da guerra e da morte de 20 milhões de soldados. Apesar disso, pode-se dizer que a indústria soviética saiu fortalecida da corrida espacial embora faltasse ao país a ampla base de tecnologia de manufatura e experiência de gerenciamento que permeava cada indústria dos Estados Unidos.

A importância estratégica do domínio espacial no contexto da Guerra Fria fica evidente pelo volume de recursos que foi investido nessa corrida. A Figura 1.1 mostra o número de pessoas que trabalhou no programa espacial norte-americano. Esse número é um indicador não apenas do vigor da economia norte-americana, mas também dos benefícios privados e públicos trazidos pela pesquisa espacial. Para que essa quantidade de pessoas pudesse ter sido mobilizada em menos de uma década nessa empreitada, há que se considerar todo o trabalho anterior de capacitação de cientistas e engenheiros ligados à pesquisa e tecnologia aeronáuticas. Tais pessoas permaneceram por anos e anos empenhadas na construção, teste e aperfeiçoamento de toda a parafernália tecnológica que permitiu o homem ir à Lua, e quando o programa

foi descontinuado, foram aplicar seu conhecimento em outras atividades, gerando tecnologias que fazem parte da paisagem do século XXI.

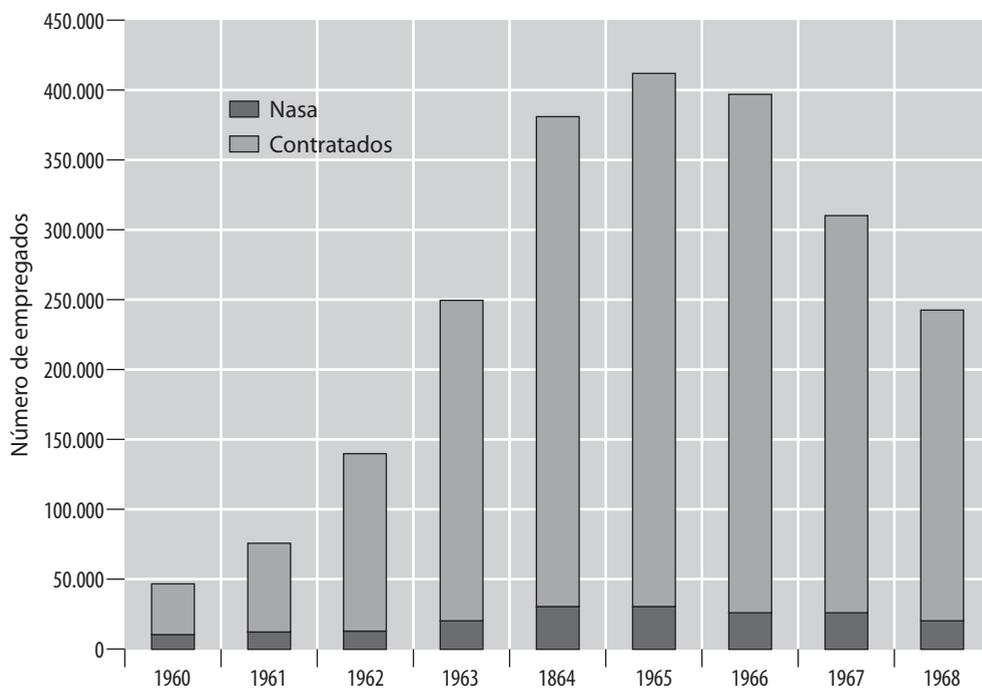


FIGURA 1.1 – Número de pessoas empregadas em projetos relativos às atividades espaciais.

Fonte: Adaptado de Ezel, 1988.

Do lado da União Soviética, o programa espacial teve a seu favor o regime de governo centralizado e totalitário. O interesse de Stalin em apoiar o desenvolvimento dos foguetes durante o pós-guerra foi fundamental para o programa espacial, embora seu interesse fundamental fosse o desenvolvimento de mísseis balísticos intercontinentais.

Como a história é contada pelos vencedores, muito do que se tem registrado é a versão norte-americana. O grande êxito do modelo norte-americano deveu-se à estratégia de transferir para a sociedade os benefícios dos investimentos voltados ao aumento do seu poderio militar e bélico, e com isso ampliar a rede de conhecimento que permitiu gerar mais conhecimento e mais benefícios sociais.

Nos Estados Unidos, em decorrência do caráter democrático do Estado norte-americano, a pesquisa e o desenvolvimento direcionados à

conquista do espaço envolveram cientistas e engenheiros da área militar e civil, integrando não apenas órgãos governamentais, mas universidades públicas e privadas e o setor industrial. A análise da Figura 1.1 deixa claro que a equipe da Nasa representou uma porcentagem pequena do total de recursos envolvidos na conquista do espaço. A estratégia de integrar os diferentes componentes da sociedade no processo não apenas garantiu o desenvolvimento rápido da tecnologia, como também abriu espaço para que esse conhecimento fosse rapidamente disseminado na sociedade e aproveitado por outros campos de atividade.

Os investimentos em pesquisa, laboratórios e recursos humanos, e a existência prévia de uma indústria aeronáutica sólida constituíram-se em fatores fundamentais para o êxito norte-americano de conquista do espaço. A abordagem adotada na realização desse objetivo consistiu de:

1. estabelecimento de metas claras e graduais de domínio de conhecimento e tecnologia;
2. identificação de lacunas de conhecimento;
3. investimento na capacitação de recursos humanos para responder aos desafios necessários ao avanço científico e tecnológico;
4. integração de competências de diferentes origens na realização de projetos estratégicos;
5. transferência de tecnologia para o setor industrial;
6. fomento de inovação tecnológica no setor industrial via contratos do governo;
7. revisão periódica de metas e de desempenho das atividades com correção de rumos) desde o primeiro plano decenal (1976) até o mais recentemente publicado (NASA, 2007).

Um exemplo dessa estratégia é dado pela política de construção de veículos lançadores durante a primeira década de atuação da Nasa (1958-1968). Esses lançadores eram uma mistura de sistemas disponíveis na área militar com inovações introduzidas pela Nasa e pela indústria aeronáutica durante a década de 1960. Durante sua primeira década de operação, a Nasa desenvolveu e usou 22 diferentes tipos de

lançadores, mas, ao término desse período inicial de experimentação e desenvolvimento, apenas nove novos veículos foram testados e lançados na década seguinte por duas razões: a tecnologia de construção de lançadores não reaproveitáveis já estava dominada e madura; era o momento de concentrar o lançamento em um pequeno número de sistemas confiáveis e começar a pesquisar formas mais baratas de se colocarem veículos no espaço, com o teste de sistemas de lançamento reaproveitáveis.

Outro aspecto fundamental é que, no centro da disputa pelo domínio do espaço, surgiu o que foi o embrião da internet. Em decorrência do caráter estratégico das informações científicas e tecnológicas de projetos de interesse militar é que surgiu uma rede de comunicação, a ArphaNet, que garantiria a comunicação entre bases militares dos Estados Unidos, mesmo que o Pentágono fosse destruído por um míssil. Hoje, a rede mundial de computadores está tão intimamente associada às mais variadas formas de atuar no mundo contemporâneo que é difícil imaginar que, há menos de duas décadas, ela não existia.

Seriam necessárias milhares de páginas para dar conta dos vários aspectos dessa história. O que se apresenta a seguir é apenas uma breve narrativa, baseada em algumas referências fundamentais, entre as quais, destaca-se o livro fascinante de Bille e Lishock (2004), *The first space race: launching the world's first satellites*, o relatório escrito por Tomayko (2000) sobre a história da introdução de computadores no controle de aeronaves e que mostra como a pesquisa aeronáutica esteve intimamente atrelada ao desenvolvimento de aspectos básicos da astronáutica e vice-versa, os vários volumes do *NASA historical data book*, a detalhada cronologia compilada por Eugene M. Emme (NASA, 1961), com anotações quase diárias dos avanços científicos e tecnológicos que contribuíram para tornar possível a exploração do espaço. Outro livro fundamental é o de Butrica (1997), em comemoração ao cinquentenário do lançamento do primeiro satélite de telecomunicações, *Beyond the ionosphere: fifty years of satellite communication*.

Nada relatado a seguir é original. Tudo foi resumido ou condensado dessas referências. Para que o texto ficasse mais fluente, foram evitadas citações constantes, ficando, entretanto, creditado a esses autores o que houver de informação original neste capítulo.

1.2.1 Da teoria à tecnologia

Numa época em que se assiste pela televisão ou pela internet ao passeio de um robô pela superfície de Marte, astronautas realizando experimentos nas Estações Espaciais e anúncios de viagens turísticas ao Espaço, torna-se difícil imaginar quão desafiadores foram os primeiros passos dessa conquista.

A ideia de colocar um satélite artificial em órbita da Terra não surgiu no século XX (BILLE; LISHOCK, 2004). Os princípios básicos da mecânica orbital tinham sido lançados em 1600 pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) e registrados em 1609 na obra *Nova astronomia*, na qual apresentava as leis matemáticas que descreviam as órbitas elípticas. Foi Kepler que, em 1610, criou o nome *satélite* para descrever os pequenos corpos descobertos por Galileu na órbita de Júpiter.

Em 1686, Isaac Newton terminou seu trabalho *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Ele havia descoberto que as leis de Kepler permitiam, em teoria, o desenvolvimento de satélites artificiais. Deduziu que se um projétil pudesse ser dotado de velocidade suficiente, sua trajetória não o traria de volta à Terra, mas o colocaria em órbita do planeta. Essa ideia, plantada por Kepler e nutrida por Newton, iria florescer três séculos mais tarde para dar origem aos primeiros grandes programas científicos para desenvolvimento de foguetes: o programa soviético, o programa alemão e o programa norte-americano.

Para que esses programas florescessem, dois tipos de perfis foram necessários: os visionários, que pudessem galvanizar o imaginário das novas gerações, e os construtores, que pudessem transformar teorias em produtos materiais (máquinas, equipamentos, processos). Na Rússia, Konstantin Tsiolkovsky seria o visionário e Sergey Korolev seria o homem a coordenar a construção dos equipamentos a partir das teorias e equações desenvolvidas pelo primeiro. Na Alemanha, o teórico foi Hermann Oberth, e o construtor foi Wernher Von Braun. Nos Estados Unidos, ao que parece, tanto o visionário quanto o construtor estiveram presentes em um único homem: Robert H. Goddard.

Qualquer estudo sobre a conquista do espaço deve começar com Konstantin Edvardovich Tsiolkovsky (1857-1935). Ele foi o primeiro a conceber projetos de aviões a jato, chegando a construir um túnel de vento em miniatura em sua casa para testar seus modelos. Tsiolkovsky

baseou-se em Newton e Kepler para concluir que seria possível construir satélites e espaçonaves. Em 1895, ele escreveu sobre a possibilidade de se construírem satélites artificiais, trabalho que ficou desconhecido pelo mundo ocidental até meados do século XX. Apresentou também as bases teóricas do voo espacial e da mecânica orbital em dois artigos publicados em 1903 e 1911.

Tsiolkovsky expandiu as ideias de Newton aplicando o conhecimento acumulado sobre gravidade, atmosfera e propulsão desenvolvido desde a época de Newton. Com isso, ele foi capaz de calcular a velocidade necessária para impulsionar um objeto, de modo que houvesse equilíbrio entre movimento e gravidade para mantê-lo em órbita acima da atmosfera. Em seus estudos, também concluiu que apenas um foguete muito grande e potente teria condições de propelir um satélite para além da atmosfera. São dele as primeiras pesquisas sobre combustíveis para produzir a energia necessária para acionar esse foguete espacial, chegando à conclusão de que a combinação de hidrogênio (combustível) e oxigênio líquidos (comburente) seria a mais eficiente. Ele também derivou as equações de propulsão, a fundamentação matemática necessária para descrever a aceleração do foguete, e como ele seria capaz de impulsionar uma espaçonave a uma alta velocidade. A equação em si não era nova, mas ele foi o primeiro a mostrar como ela poderia ser aplicada a foguetes a serem usados em viagens espaciais.

Entre muitas de suas outras ideias, Tsiolkovsky também especulou sobre os meios para manter a vida no espaço, projetou grandes foguetes e estações espaciais, e desenvolveu a teoria de foguetes de estágios múltiplos, um dos aspectos essenciais da exploração espacial.

Os foguetes também não eram uma ideia nova. Na verdade, era muito antigo o uso de foguetes na China, remontando a 1.045 d.C. Nos séculos posteriores, os foguetes tornam-se comuns na América e Europa e na Rússia, sendo usados para fins militares (bombardeio e sinalização). Todos eram construídos com um projeto comum: um tubo cheio de combustível sólido, alinhado na ponta e com ignição na base. Inicialmente, todos os foguetes eram feitos com pólvora compactada. Entretanto, a propulsão gerada por esse e por vários outros tipos de combustíveis testados era muitas ordens de magnitude menor do que a necessária para colocar um satélite em órbita.

Muitos avanços seriam necessários, principalmente envolvendo os foguetes baseados em propelentes líquidos, para tornar os voos espaciais uma realidade. Embora o trabalho de Tsiolkovsky fosse pouco conhecido fora da Rússia, ele inspirou vários engenheiros, entre os quais Sergei Pavlovich Korolev, um engenheiro formado na Escola Técnica de Moscou, com experiência na construção de planadores e aviões.

Korolev foi introduzido à teoria de foguetes por volta de 1930 por intermédio de Frerich Tsander, que o convidou para desenvolver um motor de foguete com propulsão líquida. Tsander tinha projetado aviões de sucesso e acreditava que o futuro da aviação estaria em aviões propulsionados por foguetes, e que as espaçonaves seriam uma evolução natural da aeronáutica. Outra personagem importante dessa história foi Valentin P. Glushko, que em 1928 trabalhava como engenheiro no Laboratório de Dinâmica de Gases de Leningrado, quando desenvolveu foguetes para a artilharia, projetou motores com propelentes líquidos e construiu modelos de sistemas de propulsão elétrica, uma ideia muito à frente de seu tempo.

Nesse processo, outro ator a se destacar foi Mikhail Tikhonravov, um engenheiro aeronáutico que liderou o lançamento de um foguete com propelente misto, o que garantiu aos soviéticos a liderança inicial no lançamento de foguetes com instrumentos meteorológicos para sondagem atmosférica.

Antes que o mundo tomasse conhecimento dos desenvolvimentos da União Soviética, de forma independente, o alemão Hermann Oberth e o norte-americano Robert Goddard duplicaram muitos desses achados.

Hermann Oberth submeteu à Universidade de Heidelberg, em 1922, a tese *O uso de foguetes para viagens espaciais*, mas esta foi rejeitada porque o tópico foi considerado pouco adequado a um programa científico. Oberth, entretanto, não desistiu de suas ideias e transformou o texto de sua tese num livro que se tornou bastante popular. Apesar de muitos acadêmicos continuarem a desprezar suas ideias, seu livro gerou um grande debate sobre a viabilidade técnica de se construírem foguetes. Durante sua carreira, ele trabalhou intensamente para popularizar as ideias de viagem espacial, escrevendo um livro mais completo chamado *Ways to space travel*.

À semelhança de Tsiolkovsky, Oberth acreditava na necessidade de se desenvolver combustível líquido para os foguetes. Ele também

acreditava na necessidade de se construir um sistema que permitisse o descarte sucessivo dos tanques vazios de propelentes, dando origem ao conceito de foguete espacial em múltiplos estágios. Como resultado de sua correspondência com Tsiolkovsky, Oberth tinha conhecimento de que as ideias dos russos eram anteriores às suas, dando amplo crédito a eles em suas publicações. Ele foi o grande divulgador das pesquisas russas no Ocidente.

Em 1930, Oberth lançou o primeiro modelo-teste desenvolvido por ele com um motor baseado em propelente líquido. Ele tinha alguns estudantes da Universidade Técnica de Berlim que participaram do projeto, entre os quais, Werner Von Braun. Ele não sabia que um foguete com propelente líquido já havia sido testado nos Estados Unidos, em 1926, pelo físico Robert H. Goddard.

Goddard era cientista e queria construir um foguete que pudesse ser transformado em uma ferramenta científica confiável para colocar sensores a altitudes superiores às alcançadas pelos balões, de modo a obter dados que permitissem caracterizar as propriedades da alta atmosfera. Pode-se dizer, dessa maneira, que ele foi o precursor das ideias que levaram à construção dos primeiros satélites meteorológicos. Goddard começou seus experimentos bem antes da primeira guerra mundial, testando sistemas com combustível sólido. Em 1914, ele já havia obtido a primeira patente norte-americana de um foguete de dois estágios.

Com os vários avanços em termos de altura e distância do alcance de seus modelos, Goddard começou a despertar o interesse das Forças Armadas. Entretanto, esse interesse ficou bastante diminuído a partir de 1918 com o armistício, sem a necessidade imediata de aplicação militar de mísseis. Como a motivação de Goddard transcendia a aplicação militar, ele continuou pesquisando por conta própria e terminou por desenvolver um modelo baseado em combustível líquido. Esse modelo alcançou uma altitude superior a 1 km e permaneceu ativo por cerca de dois segundos. Goddard estimou que sua velocidade fosse cerca de 100 km/hora. Por conta desses experimentos de Goddard, muitos dos historiadores norte-americanos consideram 1926 como o início da era espacial, quando ele lançou, com sucesso, o primeiro foguete baseado em combustível líquido, uma vez que foi o domínio dessa tecnologia que permitiu alcançar a fronteira do espaço.

Outro evento importante no período anterior à Segunda Guerra Mundial, no tocante à pesquisa de foguetes espaciais, foi o nascimento de um novo centro de excelência em pesquisa de lançadores. Em 1936, Theodore von Kármán, diretor do Laboratório Guggenheim de Aeronáutica do Instituto de Tecnologia da Califórnia – Guggenheim Aeronautical Laboratory at the California Institute of Technology (Galcit) – propôs a Frank Malina o desenvolvimento de foguetes para transporte de instrumentos em voos suborbitais. Em 1939, o grupo liderado por Malina teve financiamento da National Academy of Science para o desenvolvimento de um sistema de propulsão a jato – Jet-Assisted Take Off (JATO) – para auxiliar aviões muito pesados a levantarem voo. O programa recebeu o nome de Jet Propulsion Research e foi tão bem-sucedido que os membros da equipe formaram a empresa Aerojet General Corporation, com o objetivo de construir jatos.

Com o início da II Guerra Mundial e o acesso a informações sobre o desempenho dos foguetes balísticos alemães, formalizou-se a criação do Jet Propulsion Lab – Laboratório de Propulsão a Jato –, que passou a receber recursos das forças armadas com a missão de superar a potência e o alcance dos mísseis alemães. A partir dessa data, o JPL tornou-se muito mais independente da área de pesquisa do California Institute of Technology (Caltech) e mais atrelado aos objetivos militares das forças armadas.

Enquanto o programa do Caltech ainda estava em sua infância, o de Robert Goddard tinha avançado e ele já tinha conseguido desenvolver o foguete P-23, o modelo mais adiantado de sua época, exceto pelos sistemas classificados (militares) desenvolvidos pelos alemães. Apesar do êxito de Goddard, as forças armadas mostraram pouco interesse por seu trabalho. Quando morreu, em 1945, ele tinha 214 patentes relativas à tecnologia de lançadores, incluindo avanços na estabilização por giroscópios, métodos de refrigeração das câmaras de combustão, controles de voo, sistemas de recuperação de carga útil, entre outros.

Na Inglaterra, a British Interplanetary Society também teve um papel importante no desenvolvimento das ideias que embasaram a corrida espacial. Um dos seus dirigentes, Arthur Clark, publicou, em 1945, um artigo intitulado “Wireless World”, em que demonstrava a utilidade de se colocarem satélites de comunicação em órbitas geossíncronas (ou geoestacionárias). Essas órbitas são a base para os satélites de comunicação atuais.

1.2.2 Os primórdios da exploração do espaço

Do ponto de vista prático, o avanço científico e tecnológico que levou à era espacial não foi um esforço isolado, não foi uma busca solitária; foi, sim, uma ação de Estado. A importância estratégica da tecnologia espacial fica evidente quando se observa o poderio militar norte-americano derivado do domínio de tecnologias espaciais, que incluem o uso de satélites de posicionamento global – Global Positioning Systems (GPS) –, que permitem localizar e posicionar instalações militares a partir de satélites, e satélites de comunicação, que permitem a interação entre soldados e comando mesmo em locais remotos. Os satélites são essenciais para o sucesso no lançamento de mísseis de precisão. Segundo dados publicados por Lamb (2006), cerca de 5.000 mísseis foram disparados contra o Afeganistão, cujo apontamento foi determinado por sistemas de posicionamento a laser, instalados em satélites.

Como reconheceu Emme (NASA, 1961), esse avanço sempre respondeu ao interesse estratégico das forças armadas norte-americanas, traduzido em recursos humanos e financeiros que, ainda no início do Século XX (1907), permitiram transformar o protótipo dos irmãos Wright no primeiro avião para uso militar.

O desenvolvimento da aeronáutica (ciência e tecnologia que permite a locomoção no espaço circunscrito à atmosfera terrestre) pavimentou seu desenvolvimento na medida em que, associados às aeronaves, foram desenvolvidos equipamentos e processos que foram paulatinamente aproveitados para a conquista do espaço. Outro aspecto de grande importância é que, muito cedo, o uso de aeronaves para fins militares não teve como objetivo o transporte de tropas ou o bombardeio do terreno inimigo. Essas aplicações foram vislumbradas posteriormente. O interesse inicial foi o de observar o território inimigo à distância e levantar informações que permitissem planejar novas ações. Para isso, os aviões precisavam ter sistemas sensores a bordo para registrar, de modo perene, as características do território inimigo, desvendando a grande utilidade da observação da Terra a partir de alturas crescentes.

A análise da cronologia organizada por Eugene M. Emme em 1961 sobre as conquistas científicas e tecnológicas em aeronáutica e astronáutica entre 1915 e 1960 (NASA, 1961) permite compreender como a estratégia nacional de **conquista do espaço** pavimentou a transforma-

ção dos Estados Unidos na potência hegemônica do fim do século XX e início do século XXI (NASA, 2008). Um aspecto interessante nessa cronologia que antecede à criação da NASA é que o exército e a marinha foram os grandes financiadores desses avanços. E, ao mesmo tempo, os avanços da aeronáutica criaram a base industrial e tecnológica para alicerçar o desenvolvimento da pesquisa e tecnologia espaciais.

Com o início da Primeira Guerra Mundial (1914-1918) houve grande investimento no aperfeiçoamento da frota militar, o que implicava aviões mais rápidos, mais estáveis, mais econômicos, com maior capacidade de transporte de carga e mais segurança de voo, entre outras características. Como esses esforços estavam dispersos e, portanto, eram ineficientes, criou-se a National Advisory Committee of Aeronautics (NACA) – Comitê Consultor Nacional de Aeronáutica – em 1915 com a missão de supervisionar e dirigir a pesquisa científica voltada à solução de problemas práticos da aviação.

Uma das primeiras tarefas desse comitê foi identificar as lacunas de conhecimento e a necessidade de capacitação de recursos humanos para a pesquisa e o desenvolvimento da aeronáutica e da astronáutica. Como resposta a essa necessidade, foi criado ainda no ano de 1915 o curso de graduação em Engenharia Aeronáutica no Massachusetts Institute of Technology (MIT). Antes do término da guerra, foram contabilizados os seguintes avanços:

- a) sistema para pilotagem automática;
- b) câmeras aéreas com lentes adequadas para a obtenção de fotos à altitude de 1 a 2 km;
- c) hidroaviões;
- d) sistemas de estabilização das aeronaves;
- e) sistemas de radiocomunicação entre aeronaves e entre as aeronaves e torres de comando a distâncias crescentes;
- f) serviço de pesquisa e aplicação meteorológica para garantir a segurança da frota;
- g) desenvolvimento de materiais leves para a construção das aeronaves;
- h) desenvolvimento de laboratórios de integração e testes de sistemas em solo para reduzir o risco de falha de voos experimentais;

- i) escola de medicina aeronáutica com o objetivo de estudar em condições de solo as respostas fisiológicas humanas a situações de baixa pressão e alta altitude, como preparação para a utilização de aviões a altitudes extremas;
- j) escritório de inteligência aeronáutica para coligir e distribuir informações científicas e tecnológicas sobre aeronáutica;
- l) experimentos iniciais de lançamento de mísseis;
- m) criação de protocolos para padronização de procedimentos no processo de pesquisa e desenvolvimento ligados ao avanço da aeronáutica.

Um aspecto que fica evidente da leitura dessa cronologia é a transferência da tecnologia para uso civil, visto que as forças armadas, mesmo sem a iminência de guerra, continuavam a investir no desenvolvimento de motores mais potentes, novos sistemas de propulsão e sistemas mais precisos de controle de aeronave. Um exemplo disso é que, em 1921, foi realizado o primeiro voo de um avião militar com cabine pressurizada (para atender às sugestões dos estudos sobre as respostas fisiológicas humanas em situações de baixa pressão). Esse conhecimento, ao ser transferido para a iniciativa privada, permitiu seu aperfeiçoamento e utilização comercial em menos de duas décadas (1938), quando a Boeing inaugurou o seu primeiro avião comercial com cabine pressurizada. Essa grande permeabilidade entre ciência, desenvolvimento tecnológico e a iniciativa privada permitiu uma rápida apropriação pela sociedade dos benefícios da pesquisa aeronáutica e espacial, e, com isso, a percepção de que investimentos em ciência tinham impactos econômicos.

O interesse estratégico militar, entretanto, foi o fator que mobilizou um volume imenso de recursos para a pesquisa de lançadores e mísseis, os quais posteriormente foram aproveitados para o lançamento de satélites e naves espaciais tripuladas. Segundo Tomayko (2000), o primeiro grupo de pesquisa e desenvolvimento de foguetes balísticos, que deram origem aos atuais lançadores, foi reunido pelo governo do III Reich como parte das estratégias da expansão germânica em território europeu. Data dessa época, também, os primeiros sistemas de controle de atitude, que formaram a base para o uso de computadores analógicos na estabilização de aeronaves. Tais sistemas já tinham, nessa

época, os componentes básicos dos futuros sistemas digitais que foram usados em espaçonaves. Tais componentes eram: sensores, computador central e informação para a navegação.

Apesar de os mísseis terem controle ativo já na década de 1940, muito investimento em pesquisa foi necessário para que se pudesse transferir a ideia de controle de mísseis para o controle de um módulo lunar. Os sistemas de controle de mísseis tinham um papel passivo durante as fases mais complexas de sua trajetória, ou seja, na subida e na descida. Essa assistência era dada por grandes estabilizadores verticais colocados na base do míssil. À medida que esses mísseis entravam em ou saíam de regiões em que a atmosfera era mais densa, a estabilidade que possuíam era ajustada à pressão atmosférica.

No caso do módulo lunar, o problema era mais complexo porque não seria possível contar com a ajuda da aerodinâmica. O módulo lunar foi projetado para operar ao longo de toda a missão em ambiente sem atmosfera. Assim sendo, foi necessário desenvolver todos os sistemas de controle. Nesse caso, a astronáutica beneficiou-se dos avanços da aeronáutica, visto que a velocidade de cruzeiro havia dobrado no período pós-guerra e a engenharia havia abandonado os projetos que buscavam o aumento da estabilidade inerente, e passado a desenvolver modelos inerentemente instáveis, sem que isso representasse mais carga de trabalho para os pilotos. Com isso, a ênfase dos projetos passou do aumento da estabilidade da aeronave para o aumento das opções de controle.

As soluções mecânicas e hidráulicas mostraram-se inicialmente adequadas, mas bastante limitadoras de seu desempenho em termos de velocidade, capacidade e manejo. Esses sistemas de controle, entretanto, formaram a base do que viria a ser o controle de bordo por computadores (TOMAYKO, 2000). Os sistemas ativos de controle utilizam computadores que não apenas monitoram as alterações de atitude da espaçonave, mas também utilizam modelos numéricos para gerar os comandos necessários para sua correção instantânea.

As narrativas sobre a conquista do espaço passam a impressão de que a ciência e a tecnologia tinham alcançado graus de maturidade similares, porém independentes, nos dois blocos hegemônicos, e que ambos estavam preparados para enviar o primeiro satélite ao espaço já na segunda metade da década de 1950. No entanto, os soviéticos lan-

çaram o Sputnik I em 04 de outubro de 1957, e o Sputnik II, com uma carga útil para a realização de experimentos em biomedicina e radiação solar três meses antes do lançamento do Explorer I (31 de janeiro de 1958), o primeiro satélite lançado pelos norte-americanos.

Entre 1957 e 1960 foi registrado o lançamento de 34 satélites norte-americanos e nove satélites da União Soviética. Enquanto, nos Estados Unidos, o programa espacial ganhava forma com os esforços sistemáticos para desenvolver os componentes necessários para colocar satélites no espaço e enviar espaçonaves tripuladas para a realização de experimentos em órbita da Terra, na União Soviética também havia a concentração de esforços para colocar uma espaçonave na órbita da Terra e trazê-la de volta à superfície. Isso era um passo essencial para garantir a sobrevivência da tripulação. Para isso, os lançadores precisavam ser confiáveis, os sistemas de telecomunicação que permitissem acompanhar e comandar da Terra os procedimentos em órbita teriam de ser também garantidos. Além disso, as espaçonaves tripuladas precisavam ter mecanismo de controle de atitude para retornar à órbita e colocar-se na posição de reentrada na atmosfera. Essa tecnologia já era disponível, mas ainda não totalmente provada para arriscar vidas humanas no fim da década de 1950. Esse esforço foi realizado entre 1957 e 1960.

A Figura 1.2 permite observar a distribuição desses satélites ao longo do tempo, e mostra que, não obstante o pioneirismo soviético de colocar o primeiro satélite em órbita, esse feito foi rapidamente suplantado pelos Estados Unidos. Houve, para isso, a contribuição decisiva da criação, em 1958, da Nasa, a qual passou a coordenar os esforços entre os diferentes agentes do processo.

A Tabela 1.1 lista os satélites e sondas lançados no período entre 1957 e 1960, cujos objetivos foram parcialmente ou totalmente alcançados. O que se observa é que os Estados Unidos tiveram uma posição mais agressiva, testando vários modelos de lançadores, cumprindo diferentes objetivos científicos, e também testando diferentes tipos de órbitas e cargas úteis. Nessa primeira fase, pelo menos três objetivos fundamentais foram cumpridos: criou-se a base para operacionalizar os satélites de comunicação e os satélites meteorológicos, dominou-se a tecnologia de lançadores confiáveis e, finalmente, desenvolveu-se a tecnologia de recuperação de módulos espaciais em órbita.

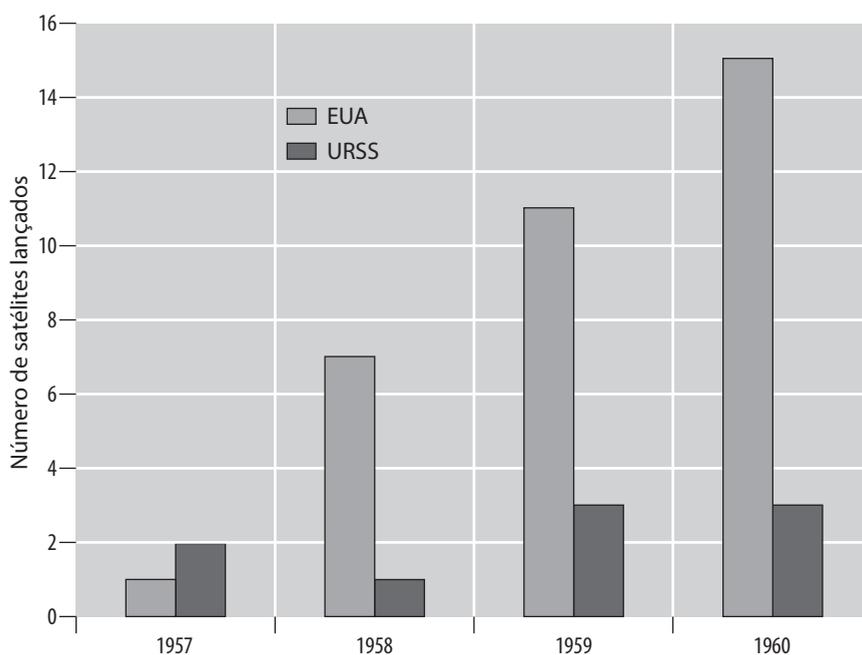


FIGURA 1.2 – Lançamentos de satélites pelos Estados Unidos e pela União Soviética entre 1957 e 1960.

Fonte: Nimmen et al. 1976.

No breve período entre 1957 e 1960, os dados coletados por esses satélites experimentais mostraram enorme potencial, o que estimulou ainda mais, não apenas investimentos, mas o interesse de milhares de pesquisadores, políticos e empresários. Para o público em geral, os voos espaciais tinham finalmente saído da esfera da ficção científica e se tornado fato documentado. Com o lançamento do Sputnik I, a era espacial chegou anunciada pelo seu “bip-bip”. Esse “bip” foi captado em vários pontos da Terra, inclusive por pioneiros brasileiros que instalaram, em São José dos Campos, uma pequena estação de recepção desses sinais, dando origem ao que posteriormente viria a ser o primeiro grupo de pesquisadores do Instituto de Pesquisas Espaciais¹. O Sputnik I era formado por uma esfera de metal com quatro antenas, medindo cerca de 60 cm de diâmetro com instrumentação científica pesando menos que 90 kg. Apesar do modesto objetivo – estar em órbita –, esse evento representou uma profunda e duradoura mudança na vida dos habitantes do planeta.

¹ A informação resultou de uma entrevista com a Sra. Maria do Carmo Soares, secretária do projeto de rastreamento do Sputnik I, pela equipe do INPE.

Tabela 1.1 – Satélites e sondas espaciais lançadas entre 1957 e 1960		
Data de Lançamento	Nome/País	Observações
05/10/1957	Sputnik I/URSS	Primeiro satélite artificial em órbita da Terra.
03/11/1957	Sputnik II/URSS	Primeiro satélite com carga útil com experimentos biomédicos e de propriedades da alta atmosfera. Revelou pela primeira vez o papel da radiação solar na densidade da alta atmosfera.
31/01/1958	Explorer I/EUA	Lançado como parte dos eventos do International Geophysical Year e levou a bordo carga útil que permitiu registrar a presença dos anéis de Van Allen.
17/03/1958	Vanguarda I/EUA	Primeiro satélite com baterias solares, colocado por lançador de três estágios e construído com sistemas de estabilização da órbita, que permitiram obter informações sobre a forma da Terra.
26/03/1958	Explorer III/EUA	Primeiro satélite com gravador de bordo. A carga útil realizou experimentos para registrar raios cósmicos e temperatura, impactos de micrometeoritos e caracterização dos anéis de Van Allen.
15/05/1958	Sputnik III	Carga útil para medição de pressão, ions, campo elétrico e magnético da Terra.
26/06/1958	Explorer IV	Carga útil consistiu de contadores Geiger e cintilômetros para caracterização dos anéis de Van Allen.
11/10/1958	Pioneer I	Primeiro satélite a reentrar na atmosfera sobre a região do pacífico. Permitiu determinar a extensão radial da radiação, o fluxo total ionizado, a oscilação do campo magnético da Terra, a densidade de micrometeoritos e as medidas de campo magnético interplanetário.
06/12/1958	Projeto Score/EUA	Experimentos de telecomunicação. Carga útil consistia de equipamentos de transmissão, recepção e gravação de sons. Primeira transmissão de voz a partir do espaço.
02/01/1959	Lontik I (Machta)/URSS	Carga útil para realizar experimentos que permitiram medir a composição de gases que compunham a matéria interplanetária; medidas de radiação solar e do campo magnético da Terra e da Lua. Foi a primeira sonda espacial de sucesso, tendo permanecido em órbita do Sol por 15 meses.
28/02/1959	Discoverer I/EUA	Primeiro satélite de órbita polar.
02/03/1959	Pioneer IV	Experimentos sobre a composição do espaço na trajetória entre a Terra e a Lua, com base em uma carga útil composta de um sistema de varredura fotoelétrica. Produziu dados sobre a radiação solar e permitiu atingir a distância equivalente a 60.000 km da Lua.
13/04/1959	Discoverer II/EUA	Experimento visando à recuperação de carga útil ejetada do satélite em órbita.
07/08/1959	Explorer VI/EUA	Além das cargas úteis anteriores, incluiu um sistema de varredura (tevé) que permitiu obter a primeira imagem de nuvens a partir do espaço.
12/09/1959	Lunik II/URSS	Colocado em órbita por um lançador de múltiplos estágios, com objetivo de atingir a Lua. Primeira sonda Lunar, que atingiu a Lua em 13 de setembro de 1959, viajando a uma velocidade de cerca de 11 mil km/h. Levou 35 horas até se chocar com a Lua.
04/10/1959	Lunik III/URSS	Carga útil permitiu transmitir fotografias da face obscura da Lua.
11/03/1959	Pioneer V/EUA	Carga útil com sensores de plasma, raios cósmicos, magnetismo e temperaturas, para caracterização de ambiente interplanetário em órbita entre Vênus e a Terra. Atingiu o recorde de distância de comunicação via satélite de cerca de 36 milhões de quilômetros no dia 26 de junho de 1959.
01/04/1960	TIROS-I/EUA	Teste do uso de câmeras de tevé para estabelecer um sistema global para captura de imagens de nuvens. Permitiu a obtenção de 22.500 imagens da cobertura de nuvem da Terra. Primeira observação global da cobertura de nuvens do planeta.
15/05/1960	Spacecraft I (URSS)	A missão teve por objetivo colocar em órbita um módulo espacial para testar o sistema de suporte à vida e a viabilidade de sua recuperação do módulo em órbita e reentrada na atmosfera. Transmissão de vozes gravadas a partir do módulo para uma estação terrestre. O módulo foi colocado em órbita, foi realizada a transmissão módulo–estação terrena, mas ele não foi recuperado.

Tabela 1.1 – (continuação)		
Data de Lançamento	Nome/País	Observações
24/05/1960	Midas II/EUA	Lançado com o objetivo de testar um sistema de detecção de lançamento de mísseis a partir de sensores infravermelhos colocados a bordo de satélites.
22/06/1960	Transit II-A	Lançado com o objetivo de demonstrar a viabilidade de operação de satélite de navegação, melhorar as medidas geodésicas e proporcionar padrões precisos de medidas de tempo.
10/08/1960	Discoverer XIII/EUA	Teve como objetivo a obtenção de dados sobre propulsão, comunicação, desempenho em órbita e sobre técnicas de estabilização e de recuperação de carga útil. Primeiro experimento bem-sucedido de recuperação de um objeto do espaço.
12/08/1960	Echo I/EUA	Visou à colocação no espaço de uma esfera expansível. Demonstrou a reflexão de ondas de rádio com a finalidade de expandir a comunicação global. Numerosos experimentos de comunicação bem-sucedidos.
19/08/1960	Spacecraft II	A missão teve por objetivo colocar em órbita um módulo espacial para testar o sistema de suporte à vida, a viabilidade de recuperação do módulo em órbita e reentrada na atmosfera. Levou a bordo dois cachorros, ratos, moscas, plantas etc. A carga útil incluía câmeras de televisão e transmissores. Foi a primeira carga útil biológica recuperada após 18 órbitas em torno da Terra, que perfizeram um percurso de cerca de 700 mil quilômetros. A cápsula ou módulo espacial foi recuperado, segundo relatórios, a uma distância de menos de 12 quilômetros do local predeterminado.
04/10/1960	Courier I-B	Testar a viabilidade de um satélite de comunicação global usando equipamentos de transmissão com capacidade de processar 68 mil palavras codificadas por minuto. Transmissão e recepção bem-sucedida.
12/11/1960	Discoverer XVII	Satélite em órbita polar. Teve o objetivo de coletar dados sobre propulsão, comunicação, desempenho da órbita, técnicas de estabilização e recuperação de módulos espaciais. Após 31 órbitas o módulo foi ejetado e recuperado com sucesso.
23/11/1960	TIROS II	Órbita polar. Carga útil com o objetivo de obter imagens na faixa do visível e do infravermelho para determinação da cobertura global de nuvens e estimar temperaturas de sua superfície. Experimento calibrado contra dados coletados em superfície.
19/12/1960	Discoverer XIX	Órbita polar. Missão com o objetivo de testar os equipamentos que seriam levados a bordo do Midas. Foi o 31º satélite lançado com sucesso entre 1957 e 1960.

Apesar do menor número de missões, a União Soviética também chegou a 1960 aparentemente com um nível tecnológico bastante semelhante ao dos Estados Unidos. A corrida espacial ainda não havia começado, porque a grande meta era ser capaz de levar o homem ao espaço e retornar à Terra.

1.2.3 A corrida espacial e a conquista da Lua

O encontro entre a nave Apollo e a Soyuz marca o fim da corrida espacial travada entre os Estados Unidos e a União Soviética, em 15 de Julho de 1975. Essa corrida foi uma competição pelo domínio da tecnologia espacial e pelo avanço da exploração e domínio do espaço, que se iniciou em 1957, e se materializou pelo desafio de colocar um

homem na Lua e trazê-lo de volta à Terra. A corrida espacial foi um aspecto importante no conflito entre as duas potências hegemônicas da Guerra Fria, porque tinha implicações estratégicas ligadas à corrida armamentista. É mais fácil motivar pessoas a trabalharem para colocar o homem na Lua do que para a construção de mísseis balísticos intercontinentais, embora o conhecimento e tecnologias necessárias sejam similares.

Não obstante o grande êxito norte-americano no lançamento de satélites não tripulados (Tabela 1.1), foram os soviéticos que, em 1961, colocaram o primeiro homem no espaço, quando Yuri Gagarin foi lançado em órbita da Terra, em 12 de abril, a bordo da nave Vostok-1, e permaneceu em órbita por cerca de uma hora e meia antes de retornar à Terra². A nave era equipada com sistemas de manutenção da vida, sistemas de comunicação e sistemas de controle que permitiam a operação automática do satélite, fosse em órbita, fosse na reentrada para a atmosfera. Esse feito acabou por colocar no centro das decisões do Estado a meta de alcançar a Lua até o fim da década.

Em 1957, a imprensa soviética anunciou que o país tinha testado, com sucesso, um míssil balístico de alcance intercontinental. Algumas semanas depois, anunciou a colocação em órbita do primeiro satélite artificial, o Sputnik I. Segundo Nimmen et al. (1976), esses sucessos soviéticos encheram a nação norte-americana de vergonha e medo. Vergonha por ter perdido a primazia de tão grande feito, por não ter ousado usar a tecnologia militar disponível para essa finalidade, e medo por verificar a vulnerabilidade da nação à espionagem espacial russa. A resposta a isso foi a liberação de recursos para o desenvolvimento de mísseis e para missões espaciais. No início de 1958, foram aprovadas várias leis relativas à política espacial, que culminaram com a criação da National Aeronautics and Space Administration, em 14 de abril de 1958.

A primeira década da Nasa consistiu basicamente da consolidação de um programa nacional de integração de agências governamentais, comunidade científica e indústria aeroespacial. A Nasa teve de se organizar a partir da antiga Naca, de modo a dar origem a um programa civil para desenvolvimento de satélites e sondas, a partir dos desenvol-

² Segundo dados de RussianSpaceWeb.com. Disponível em: <<http://www.russianspaceweb.com/vostok1.html>>. Acesso em: 12 dez. 2009.

vimentos herdados da Advanced Research Projects Agency (Arpa), e integrar esses avanços ao programa de satélites para o International Geophysical Year, o programa Vanguarda. Vários laboratórios operados pelas forças armadas foram transferidos para a administração da Nasa, como o Jet Propulsion Laboratory (JPL) e a Divisão de Pesquisas da Army Ballistic Missile Agency (ABMA), que trouxe consigo a equipe de von Braun e o projeto do veículo lançador Saturno.

Em 1958, a Nasa era um pequeno conglomerado de laboratórios e agências coordenadas para responder ao desafio posto pela conquista soviética. O fator decisivo para transformar a Nasa e o programa espacial norte-americano no programa mais bem-sucedido na conquista espacial do século XX foi, então, o êxito precoce da União Soviética em realizar o primeiro voo espacial tripulado. Ela representou a resposta do Estado norte-americano a esse fato, visto como uma ameaça à segurança e ao orgulho nacionais. Em resposta ao voo de Gagarin, o presidente Kennedy desafiou a Nasa, em 25 de Maio de 1961, a colocar um norte-americano na Lua. Essa foi uma empreitada que, na década de 1960, envolveu quase meio milhão de norte-americanos (Figura 1.1) e trouxe transformações impensáveis ao modo de vida dos seres humanos.

O modelo adotado pela Nasa para responder a essa tarefa foi o de buscar na iniciativa privada, nas universidades e nos demais órgãos de governo os recursos humanos e a infraestrutura inicial necessária para dar início à ambiciosa missão de levar o homem à Lua. Com isso, já no ano fiscal de 1962, mais de 90% dos recursos despendidos pela Nasa foram destinados a contratos.

A Nasa tinha a autoridade para desenvolver, construir, testar, operar veículos espaciais, e contratar indivíduos, corporações, agências de governo e qualquer outro tipo de serviço ou produtos que fosse necessário para realizar sua missão. Para isso, os centros da Nasa deveriam ter competência para pesquisar e especificar os projetos ou especificar as necessidades e contratar os serviços por meio de anúncios de oportunidades competitivos em que as vantagens relativas das diversas propostas submetidas eram examinadas e discutidas por comissões de alto nível antes de serem estabelecidos os contratos. O quadro técnico e científico da Nasa também tinha a responsabilidade de supervisionar a construção para garantir a confiabilidade dos sistemas, e desenvolver métodos de controle de qualidade para isso.

Ao término da década de 1960, a Nasa possuía laboratórios espalhados pelo território norte-americano em locais estratégicos, próximos a centros de excelência universitária ou fomentando seu desenvolvimento (Figura 1.3). Essa estratégia de dispersar laboratórios especializados em todo o território norte-americano fez também com que a Nasa se tornasse um agente de desenvolvimento industrial e de inovação tecnológica.

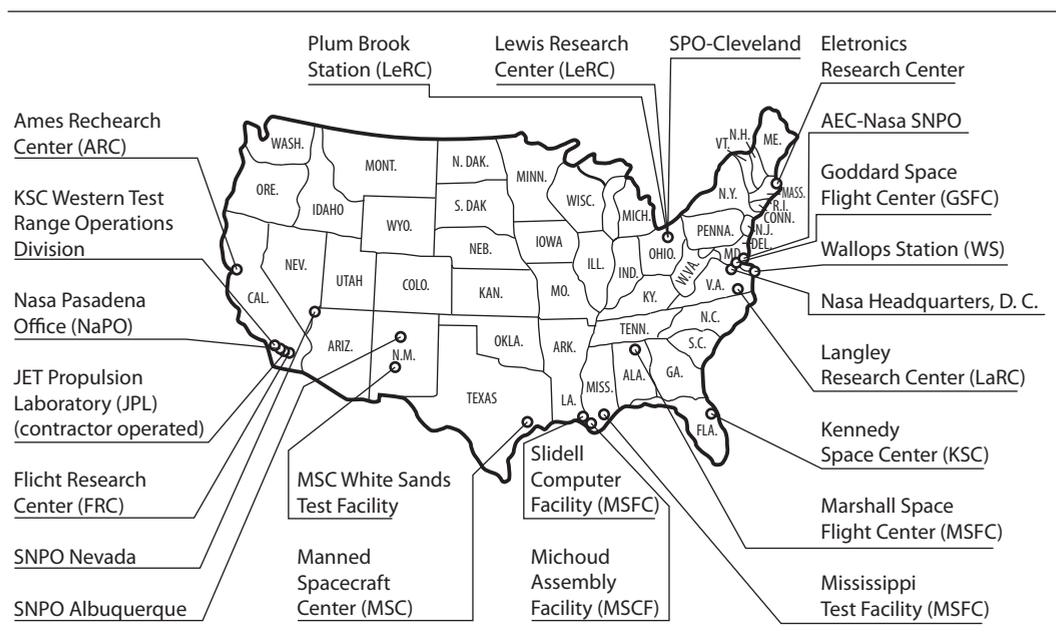


FIGURA 1.3 – Centros da Nasa.

Fonte: Ezel, 1988.

Apenas para ilustrar o modo de operação da Nasa, o mecanismo do controle de voo do módulo lunar foi desenvolvido pelo laboratório de instrumentação do MIT. A equipe do MIT já estava pesquisando o uso de computadores digitais para fazer os cálculos das manobras necessárias para o controle do módulo lunar, desde 1958, como uma linha de investigação. A Nasa aproveitou a equipe do MIT para o desenvolvimento desse componente do Módulo, buscando, em outros lugares, competências ótimas para cumprir outros aspectos da missão. O sistema desenvolvido pelo MIT permitia controlar os sensores que mediam mudanças de posição da espaçonave e enviava essas medidas para o computador de bordo, que fazia os cálculos e comparava medidas de

diferença de velocidade em três eixos, com pré-calculadas. O computador, então, enviava comandos para acionar os propulsores de controle de atitude.

Para que o controle de atitude fosse de qualidade, os dados que alimentariam o computador de bordo precisariam ser confiáveis, e, para isso, a Nasa procurou identificar onde contratar equipes para desenvolver e aperfeiçoar sensores de velocidade do ar, altitude, velocidade angular, velocidade vertical, entre outros.

Um aspecto pouco conhecido na corrida espacial foi a disputa entre os computadores digitais e analógicos. Os computadores analógicos funcionavam criando uma analogia mecânica entre a posição dos números em várias escalas e quocientes, produtos etc. Esses computadores permitiam que valores de voltagem de entrada fossem modelados por equações diferenciais traduzindo certos tipos de controle mecânico, de modo a produzir voltagens que, amplificadas, eram usadas como comandos de controle da espaçonave. Os mísseis desenvolvidos pelos alemães eram controlados por computadores analógicos. Tais computadores tinham vantagens, mas não eram passíveis de reprogramação, porque as equações eram inscritas nos circuitos, sendo, por isso, afetados pelas variações de temperatura.

Os computadores digitais não tinham essas limitações, mas havia grande resistência a eles porque eram considerados imprecisos, uma vez que o sinal tinha de ser amostrado. Apenas com o desenvolvimento mais amplo das teorias de amostragem, por volta de 1963, é que deixou de haver discussão sobre sua eficácia a bordo. Esse avanço da teoria amostral foi muito estimulado pela necessidade de se desenvolverem computadores digitais, pois esses seriam mais flexíveis, tendo suas funções alteradas por meio de programas, o que implicaria redução de custo dos equipamentos para as missões.

Por outro lado, logo se percebeu que os programas para operar computadores em tempo real, como é o caso de espaçonaves e satélites, eram limitados no tocante à flexibilidade de programação. Isso afetava não só a velocidade de computação, como também a flexibilidade das aplicações do programa. Os engenheiros programavam os primeiros sistemas digitais exclusivamente em linguagem de máquina (*level machine language*), a qual era muito difícil de ser verificada e compreendida e, portanto, muito sujeita a erro humano. Isso motivou

o desenvolvimento de linguagens de programação independentes da máquina. Entretanto, o uso de uma linguagem de alto nível requeria softwares especiais que permitissem sua tradução para a linguagem de máquina – os compiladores.

Em meados da década de 1950, uma equipe de programadores da IBM, liderada por John Backus, começou a desenvolver uma nova linguagem de programação que pudesse se tornar independente dos equipamentos, ou seja, na qual os programas pudessem ser rodados em diferentes máquinas. Essa linguagem foi a primeira de alto nível para ser usada no computador IBM 704. Recebeu o nome de Fortran, que significa FORmula TRANslation. O objetivo do projeto da IBM era produzir uma linguagem que permitisse a fácil codificação de algoritmos complexos com eficiência idêntica à da linguagem Assembler (a linguagem de máquina). A ideia era de que se programação se tornasse mais fácil, o número de máquinas comercializáveis seria muito maior. A linguagem foi apresentada pela primeira vez em fevereiro de 1957, durante a Western Joint Computer Conference, realizada em Los Angeles.

Para a ocasião, a IBM realizou testes de eficiência baseados em casos reais, entre os quais aplicações aeronáuticas. As soluções foram programadas em Assembler e Fortran. Os resultados mostraram que o desempenho da linguagem Fortran foi superior em velocidade de programação e processamento em relação à Assembler, e com o mesmo nível de precisão numérica.

A pesquisa espacial também ampliou a fronteira da capacidade de processamento dos computadores. Os computadores do programa Apollo não permitiam a manipulação de dados no formato *float-point* (ponto flutuante), um requisito necessário para as modelagens mais complexas de um sistema de transporte aeroespacial, como o do ônibus espacial, cuja aterrissagem seria precedida de manobras de estabilização em um ambiente aerodinâmico. O hardware dos computadores de primeira geração era formado por circuitos construídos a partir de fiação elétrica, tubos de vácuo e relés. A entrada de dados e a memória não volátil eram fornecidas por cartões perfurados e fitas magnéticas, respectivamente.

O Electrical Numerical Integrator and Calculator (Eniac), considerado pelos historiadores o primeiro computador eletrônico digital de grande porte, pesava quase 30 toneladas e consumia muita energia.

Portanto, para que essas máquinas pudessem ser lançadas a bordo de espaçonaves, elas teriam de se tornar eficientes tanto no consumo de energia quanto no peso e no volume. Isso se deu pela substituição das válvulas pelos transistores e desses para o uso de circuitos integrados. A pesquisa espacial não foi responsável pelas descobertas científicas que proporcionaram esses avanços, mas organizou o uso desses avanços em seu benefício.

A decisão de enviar um homem à Lua até o fim da década de 1960 obrigou a Nasa a reunir todas as mentes disponíveis para pensar sobre essa tarefa e colocá-la em execução. Era preciso:

1. aperfeiçoar os métodos de reentrada na atmosfera;
2. decidir sobre o método de alcançar a Lua diretamente³ ou a partir de naves com propulsão e capacidade de manobrar em órbita;
3. construir um módulo lunar que pudesse pousar na Lua e decolar dela para se encontrar com a nave de retorno à Terra;
4. desenvolver tecnologia para retornar à Terra;
5. estudar as condições da Lua para garantir um pouso seguro.

A tarefa era enorme, e para atingi-la foram sendo propostas missões com objetivos bastante específicos, via de regra, por meio de chamadas públicas competitivas, selecionadas por comitês compostos por pesquisadores e engenheiros de grande experiência, segundo critérios que privilegiavam o grau de inovação da solução, o grau de viabilidade técnica, considerando o tempo disponível e a maturidade do processo de integração.

Para conhecer melhor as condições ambientais da Lua antes do envio de uma missão tripulada, foram realizados, entre 1962 e 1968, três grandes programas de pesquisa e desenvolvimento. Esses programas permitiram o lançamento de naves não tripuladas, equipadas com robôs e instrumentação científica, para medir propriedades da superfície lunar. Os programas Ranger (1961-1965) e Lunar Orbiter (1966-1967) permitiram o levantamento fotográfico da superfície lunar, e o programa Surveyor (1966-1968) permitiu o pouso de um robô na lua para a

³ De acordo com: Smithsonian – National Air and Space Museum. Disponível em: <<http://www.nasm.si.edu/exhibitions/atm/rm.mj.kd.1.html>>. Acesso em: 15 jan. 2010.

aquisição de amostras de sedimentos e rochas. Essas amostras foram de grande importância para os cientistas interessados na geologia da Lua e para os engenheiros que prepararam as estratégias para o pouso de uma missão tripulada.

Na primeira década de sua existência, a Nasa também deu início ao projeto Mercury, com o objetivo de colocar o homem no espaço. O programa tinha três objetivos: desenvolver e colocar uma espaçonave tripulada em órbita da Terra, investigar a viabilidade humana de atuar no espaço e recuperar espaçonave e tripulação em segurança.

Quando organizou o programa, a expectativa da Nasa era realizar o primeiro voo tripulado ao espaço para superar o mal-estar ocasionado pelo Sputnik I. Apesar de todo o investimento e dos recursos mobilizados, os soviéticos chegaram à frente. O projeto Mercury permitiu que o objetivo de colocar o primeiro homem no espaço fosse atingido, embora com um atraso de menos de um mês.

Em 5 de maio de 1961, a nave Mercury foi colocada em órbita pelo foguete Redstone-3, levando a bordo o astronauta Alan Shepard, que permaneceu no espaço por 15 minutos e 28 segundos. Foi o primeiro voo suborbital. O projeto realizou vários voos orbitais não tripulados para testes de equipamentos e procedimentos e seis voos tripulados, cuja duração foi aumentando até atingir não apenas maior tempo de voo, mas operações mais sofisticadas. A última missão permitiu a permanência de um astronauta por 34 horas no espaço (22 órbitas completas) e teve o objetivo de avaliar o efeito da permanência prolongada no espaço sobre suas condições biológicas.

O programa Gemini representou a transição entre o Mercury e o programa Apollo, responsável pela chegada do homem à Lua. O programa Gemini começou depois que o programa Apollo já havia sido iniciado, e surgiu, em parte, para responder uma pergunta de grande relevância: seria possível fazer as manobras necessárias para que um astronauta descesse na Lua e depois deixasse a Lua e se encontrasse novamente com a nave? Seria possível o ajuste perfeito do módulo lunar à nave de modo a permitir que o astronauta retornasse a ela?

O programa Gemini tinha a intenção de demonstrar operacionalmente que uma nave pilotada poderia atingir um alvo específico no espaço, ou seja, a órbita da espaçonave cruzaria a órbita do objeto no espaço de modo que não houvesse diferença significativa em sua velocidade e posição, à semelhança dos voos em formação de aeronaves.

O programa Gemini consistiu de 10 missões realizadas num prazo de 20 meses, entre 1965 e 1966. O programa tinha dois objetivos principais:

1. testar manobras das naves em órbita;
2. realizar operações de aproximação e ancoragem da nave com outros veículos.

Essas habilidades seriam essenciais para que uma nave pudesse ser colocada na Lua com um astronauta e dela saísse sem problemas. O programa Gemini previa uma nave para dois homens, o que levou à necessidade de novos projetos e novos sistemas de suporte à vida. O programa foi anunciado em janeiro de 1962 e o primeiro voo tripulado foi feito em 23 de março de 1963. À semelhança do Mercury, o programa Gemini tinha objetivos bem definidos:

1. submeter os equipamentos e os astronautas a voo espacial de até duas semanas de duração;
2. testar procedimentos de encontro e atraque de veículos em órbita e manobrar o sistema a partir do uso de sistemas de propulsão a jato;
3. aperfeiçoar os métodos de entrada na atmosfera e de pouso em locais pré-selecionados da superfície terrestre;
4. estudar os efeitos de permanência de longo prazo no espaço sobre as condições físicas e psíquicas dos astronautas.

As principais modificações da missão foram o aumento do tamanho da nave, simplificação (automação) das atividades de manutenção, maior capacidade de manobra e aumento da potência do foguete (Titan II). A primeira missão Gemini tripulada (Gemini III) durou 4h52, completando três órbitas, em março de 1965. Em agosto de 1965, a missão Gemini V permaneceu sete dias, 22h55 no espaço e permitiu avaliar o desempenho do sistema de navegação. Em dezembro de 1965, a missão Gemini VII já dobrava o tempo de permanência no espaço para 13 dias e 18 horas. Menos de um ano depois, os objetivos tinham sido alcançados com a última nave, a Gemini XII. Nesse voo, ficou demonstrada a capacidade de executar todas as manobras necessárias, incluindo a

caminhada do homem no espaço por 30 minutos, o que foi batizado como Extra-Veicular Activity (EVA).

Em decorrência do desafio feito pelo Presidente Kennedy em maio de 1961, os objetivos da missão Apollo foram alterados para permitir o pouso na Lua antes do fim da década.

Quando o programa Apollo começou, ainda não havia um foguete que permitisse colocar uma espaçonave tripulada em órbita da Lua. Os Estados Unidos desenvolveram então o veículo lançador Saturno 1B. Esse lançador incluía a modificação do primeiro dos três estágios do Saturno V, e foi usado para o lançamento da Apollo 7, a primeira nave Apollo tripulada do programa. Durante essa missão, no auge da Guerra Fria, os pilotos deram a primeira entrevista veiculada pela televisão a partir de uma câmera levada a bordo por eles.

Para que um homem fosse enviado à Lua, houve a necessidade de mudanças substanciais na nave espacial. A versão final construída era formada por três componentes: um módulo de comando, onde a tripulação se alimentava e dormia; um módulo de serviço, para suprimento de eletricidade, com equipamentos para proporcionar potência e capacidade de manobra para sair da órbita lunar em direção à Terra, além de suprir a nave com água; e um módulo lunar – uma pequena nave –, com seus próprios foguetes e capacidade de pousar e decolar da superfície lunar, que possuía sua própria plataforma de lançamento.

A primeira missão Apollo a ser inserida em órbita da Lua foi a Apollo 8, com o auxílio do veículo lançador Saturno V, a Apollo 8 realizou 10 órbitas em torno da Lua e permaneceu no espaço por 06 dias e 3 horas. Durante essa missão, foram tiradas inúmeras fotografias da Terra e da Lua e também foram feitos programas de tevê ao vivo. A missão Apollo 9 permitiu testar o módulo lunar e também realizar atividades extraveiculares, em março de 1969. A missão Apollo 10 foi uma espécie de ensaio geral para o pouso do módulo lunar, chegando a uma altitude de 15.000 metros da superfície da Lua. Todas as operações foram transmitidas, pela primeira vez, por televisão em cores. No dia 20 de julho de 1969, a corrida foi conquistada pelos Estados Unidos. O módulo lunar da Apollo 11 pousou no Mar da Tranquilidade e Neil Armstrong pisou na Lua.

A missão teve 11 voos tripulados e várias missões não tripuladas com o objetivo de testar veículos lançadores, sistemas de controle, funcionamento do módulo de serviço e do módulo lunar, entre outros. Em

1972, o objetivo de estudar a Lua foi abandonado por questões orçamentárias e porque, na visão dos governantes, a disputa geopolítica já estava vencida.

1.2.4 A tecnologia espacial como indutora de avanço científico – do cosmo ao genoma

Desde que o primeiro avião militar pode sobrevoar com segurança para permitir a observação do território “inimigo”, duas necessidades de desenvolvimento ficaram claras:

1. os registros do território “inimigo” deveriam ser perenes;
2. idealmente, deveriam ser de conhecimento instantâneo do exército para apoiar a tomada de decisões;
3. deveriam ser feitos a altitudes crescentes para garantir a visão sinóptica de grandes áreas.

Essas necessidades impulsionaram o desenvolvimento de sensores, primeiro analógicos, depois digitais, e moveram também o desenvolvimento das telecomunicações.

O desenvolvimento de sensores envolveu a pesquisa em áreas tão diversas como física quântica, eletrônica, química analítica, computação, medicina e genética. Muitas das técnicas atualmente usadas em química analítica de forma corriqueira, tais como a espectroscopia de massa, tornaram-se possíveis graças aos avanços tecnológicos necessários para a observação do espaço. Antes de frequentarem os laboratórios, fizeram parte de cargas úteis experimentais a bordo de satélites de observação do espaço interestelar. Mas de todos os avanços proporcionados pela tecnologia espacial, o desenvolvimento de métodos computacionais é certamente o que tem contribuído para as maiores transformações da sociedade.

Se o século XX foi dedicado a ampliar as fronteiras do Cosmo, o século XXI talvez seja o século em que o conhecimento dos processos de criação e manipulação da vida será ampliado. As ferramentas para essa ousadia humana têm seu cerne não apenas nas ferramentas analíticas trazidas pela conquista do espaço, mas também no crescente sentimento de onipotência que tal conquista trouxe à humanidade.

A estrutura do DNA foi compreendida na década de 1950. O avanço em equipamentos analíticos, lentes, prismas e circuitos integrados, entre outros, permitiu que, em 1983, fosse localizado um gene em um dos 23 pares de cromossoma. Com o advento do sequenciamento do DNA e, principalmente, a partir do sequenciamento em larga escala (década de 1990), foi necessária a construção de bancos de dados mais robustos para abrigar a explosão no número de sequências obtidas pelos pesquisadores. A partir da década de 1990, iniciaram-se os primeiros sequenciamentos do genoma, primeiro de seres unicelulares, depois de vírus, até o sequenciamento final do Genoma Humano, finalizado em 2003.

O projeto Genoma Humano foi o primeiro de grande escala realizado no campo da biologia. As primeiras discussões sérias sobre a possibilidade sequenciar o genoma humano ocorreram por volta de 1985, e à semelhança do programa espacial, foi pensado como um programa de longo prazo (15 anos). Segundo Collins et al. (2003), o êxito do projeto Genoma Humano deu-se basicamente porque houve uma preocupação fundamental de reunir bons cientistas, o que permitiu desenvolver tecnologias, novas abordagens para a automação de processos, novas estratégias computacionais, novos métodos de análise de dados, muitos deles completamente desconhecidos de grande parte das tarefas comuns à pesquisa biológica. Sobretudo, à semelhança do esforço para a conquista do espaço, o projeto foi buscar competências em diferentes países, em diferentes disciplinas de conhecimentos, para atingir os objetivos comuns.

Como resultado da adaptação e desenvolvimento de tecnologias, o custo do sequenciamento baixou de US\$ 10,00 o par de bases em 1990 para US\$ 0,01 em 2003, enquanto o número de pares de bases codificadas depositados no GenBank aumentou de 50 milhões em 1990 para 100 bilhões em 2005. O modo como o projeto Genoma Humano foi desenvolvido e outros tantos projetos de grande porte têm sido desenvolvidos na atualidade, reunindo redes de pesquisas, equipes interdisciplinares e simuladores de processos, entre outras inovações, seria impensável antes do grande empreendimento do século XX, que foi a conquista do espaço.

Segundo vários autores (ROBERTO JUNIOR, 2007; SEIBEL, 2000), o desenvolvimento das técnicas de sequenciamento de DNA tem provocado o aumento exponencial do volume de dados, tornando a sua in-

interpretação o maior desafio. À semelhança dos métodos utilizados para extrair informações de imagens de estrelas ou da superfície terrestre, a base da biologia computacional reside no reconhecimento de padrões e no desenvolvimento de modelos que representem as relações biológicas. O reconhecimento de padrões é feito sobre cadeias de caracteres ('A' – adenina –, 'T' – timina no DNA – ou 'U' – uracila no RNA –, 'C' – citosina – e 'G' – guanina). Cada caractere indica um nucleotídeo da estrutura. Se for conhecida a estrutura primária de um fragmento, a sequência de DNA/RNA e a sua função, esse conhecimento pode ser, em princípio, estendido para outros fragmentos semelhantes do organismo em estudo e também de outros organismos. A biologia computacional aproveitou-se do arcabouço de algoritmos tradicionais de reconhecimento de padrões e introduziu inovações para dar conta da complexidade dos processos. Atualmente, muitos desses algoritmos voltam a ser testados para avançar os processos de interpretação de imagens obtidas por inúmeros satélites.

A era espacial aproximou os homens, ampliou a sua capacidade de compartilhar ideias, e com isso reduziu significativamente o tempo necessário para inovações. O volume de conhecimento disponível ao clicar de um *mouse* tornou-se tão grande que a ideia da ciência solitária de Newton e Einstein não é mais possível.

1.3 O Brasil na história da tecnologia: a história da criação do Inpe

No Brasil, as atividades de pesquisa espacial iniciaram-se em 1961 com a criação de um Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Gocnae), subordinado inicialmente ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A pesquisa espacial teve seu início no Brasil, não por uma decisão de Estado, com recursos alocados, mas pela pressão de membros da Sociedade Interplanetária Brasileira. Segundo Mendonça, a implantação do Programa de Pesquisas Espaciais foi uma atividade de formiga.

A Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Cnae) tornou-se o órgão responsável pela coordenação, estímulo e apoio aos trabalhos e estudos relacionados ao espaço, pela formação de um núcleo de pesquisadores capacitados para desenvolver projetos de pesquisas espaciais e pelo estabelecimento da cooperação com nações mais adiantadas.

Em 1971, a Cnae foi extinta e deu origem ao Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), subordinado diretamente ao CNPq. O Inpe passou a ser o principal órgão civil para o desenvolvimento das pesquisas espaciais, sob a orientação da Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae), órgão de assessoramento da Presidência da República.

Pode-se observar que, quando o Inpe foi criado oficialmente, a corrida espacial já tinha praticamente terminado. A primeira fase dessa corrida, como ficou demonstrado, foi basicamente tecnológica, envolvendo o desenvolvimento da capacidade de lançar veículos, tripulados ou não, ao espaço, colocá-los em órbita da Terra, e comandá-los a partir da superfície. Segundo diversos autores, exceto pela órbita lunar tripulada, pelo envio do primeiro homem à Lua 1969 e pela exploração do espaço extraterrestre, a União Soviética foi a primeira nação a dominar o conhecimento e a tecnologia espacial até cerca de 1966, quando vários fatores, entre os quais a morte prematura de Sergei Korolev, levou a uma redução dos avanços, passando os Estados Unidos a liderar essa corrida espacial e a definir quais seriam as principais tendências tecnológicas da chamada Era Espacial.

Politicamente, o Brasil estava em plena ditadura militar, instalada para se opor à ideologia soviética. Com isso, o Inpe foi organizado com a missão de buscar auferir os benefícios dos grandes investimentos do programa espacial norte-americano nas áreas de aplicação de interesse para o Brasil. As três áreas de aplicação definidas foram as de telecomunicações, meteorologia e sensoriamento remoto, com componentes de pesquisa básica e aplicada em cada uma dessas áreas. Em 1975, o Inpe já estava com mais de mil funcionários (menos de 20% de apenas um dos institutos sob a administração da Nasa). Depois, ele não cresceu muito mais, contando atualmente (2010) com cerca de 1.500.

É importante ressaltar que o Brasil foi um dos primeiros países a institucionalizar as atividades de pesquisas espaciais. Enquanto o Brasil criou o Cnae, ainda no início da década de 1960, a Índia e o Japão só criam suas agências em 1969. O Brasil foi também um dos primeiros países a criar um programa de aplicações de sensores remotos, quase 10 anos antes do Japão e quase ao mesmo tempo que a China e a Índia.

O desenvolvimento do programa brasileiro de sensoriamento remoto, ao contrário dos programas japonês, indiano e chinês, não se alicerçou no domínio de toda a cadeia tecnológica de um programa de

observação da Terra via tecnologia de sensoriamento remoto. Enquanto aqueles países, ainda nas décadas de 1970 e 1980, já possuíam seus próprios satélites de sensoriamento remoto, o Brasil só veio a realizar esse estágio de desenvolvimento por meio do programa de cooperação com a China, pelo acordo entre o Inpe e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (Cast), no fim da década de 1980. Dez anos depois, dá-se o lançamento compartilhado do satélite de sensoriamento remoto China-Brazil Earth Resources Satellite (Cbers-1) ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres.

A primeira publicação de que se tem notícia sobre a implantação do projeto Sensoriamento Remoto (Sere) nunca chegou a se converter em um relatório técnico, representando um documento interno de autoria do Dr. Luciano Jacques de Moraes, presidente de uma comissão técnica nomeada para estudar a implantação de um programa nacional de sensoriamento remoto. O nome do documento é *Projeto Sensores Remotos – Primeiro Relatório*. A data de produção desse relatório é julho de 1967. Ele traz a avaliação das atividades dessa comissão mista, composta por representantes de diversos ministérios e órgãos públicos com potencial interesse pela tecnologia. Essas atividades incluíram uma visita às diversas instituições norte-americanas envolvidas no projeto, visando buscar subsídios para a implantação de um programa semelhante ao norte-americano. No documento, os seguintes aspectos são destacados:

- O projeto *sensores remotos* representaria uma das principais aplicações da tecnologia espacial para a observação de áreas terrestres e marítimas, feita a partir de espaçonaves colocadas em órbita da Terra, de grande relevância tendo em vista a dimensão do Brasil e a falta de conhecimento sobre seus recursos naturais.
- A Nasa estava ativamente empenhada na investigação da possibilidade dessas aplicações e na execução de um programa para o seu amplo desenvolvimento. A ênfase desse programa estava em desenvolver aplicações de sensores remotos para auxiliar no levantamento e controle de importantes recursos naturais, tais como terras cultiváveis, florestas, águas e minerais – assuntos de importância vital para o atendimento das necessidades de uma população mundial em rápido crescimento. A Nasa estava ativamente procurando parceiros para cooperar na avaliação da tecnologia.

- As principais áreas de aplicação de sensoriamento remoto propostas pela Nasa, no âmbito de um programa de cooperação científica com o Cnae, seriam em Geografia, Agricultura, Floresta, Hidrologia, Caça e Pesca, Oceanografia, Geologia, Poluição e Arqueologia.
- A avaliação do potencial de aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto a cada uma dessas áreas deveria ser feita a partir de um amplo programa de pesquisa incluindo uma série de experimentos pré-orbitais, realizados em áreas testes e laboratórios no solo usando-se protótipos dos equipamentos a serem colocados em órbita.
- O Programa Sensores Remotos da Nasa tinha, àquela época, os seguintes objetivos gerais:
 1. determinar a extensão em que os novos sensores poderiam contribuir para o conhecimento e uso dos recursos naturais e culturais;
 2. melhorar o conhecimento da Terra, sua origem, seus recursos naturais e culturais, e seu ambiente;
 3. desenvolver e aperfeiçoar métodos de apresentação e disseminação de dados sobre os recursos naturais e culturais obtidos por observação espacial de caráter global, assim como a utilização desses dados sob o ponto de vista científico, técnico e comercial.
- Para atender a esses objetivos gerais, o Programa Sensores Remotos da Nasa envolvia uma série de objetivos específicos, que incluíam:
 1. desenvolver e testar a melhor combinação de instrumentos, subsistemas, procedimentos e técnicas de observação e interpretação de medidas a serem realizadas em aviões e, posteriormente, em espaçonaves;
 2. determinar, entre os dados obtidos sobre os recursos naturais, quais os mais promissores a serem obtidos do espaço, visando ao benefício econômico da humanidade;
 3. determinar quais características espectrais dos alvos que os sensores podem detectar em altitudes orbitais;

4. avaliar o impacto da tecnologia espacial sobre o estudo de fenômenos estacionários e variáveis com o tempo, tendo em vista o aumento da frequência de observação e cobertura síncrona proporcionada por sensores a bordo de satélites.
- Esse programa de pesquisa deveria ser desenvolvido por meio de uma articulação entre a Nasa e três grandes agências nacionais usuárias da informação de sensoriamento remoto:
 1. O Departamento de Agricultura (Department of Agriculture – Agricultural Research Service, Forest Service, Economic Research Service), visando ao desenvolvimento das aplicações em Agricultura e Floresta;
 2. Department of Interior (U.S. Geological Survey), visando ao desenvolvimento de aplicações em Geografia, Geologia, Hidrologia, Cartografia;
 3. U.S. Navy (Naval Oceanographic Office), para a Oceanografia e Hidrografia.
 - Esse programa também teria estreita interação com as universidades e institutos de pesquisas responsáveis pela capacitação de recursos humanos e pelo desenvolvimento de pesquisas voltadas a responder aos objetivos do programa Sensores Remotos. Entre as universidades envolvidas ativamente no programa destacavam-se: a Universidade de Purdue; a Universidade da Califórnia; a Universidade de Kansas; a Universidade de Michigan e a National Academy Sciences, com ênfase em Agricultura e Floresta; Office of Naval Research, U.S. Army Corps of Engineers, Bureau of the Census, Tennessee State University, voltados para a pesquisa em Cartografia e Geografia; Cambridge Research Laboratory, Jet Propulsion Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Universidade de Nevada, Universidade de Stanford, Indiana State e Ohio State, voltados para aplicações em Geologia e Hidrologia; Scripps Institute of Oceanography, Woods Hole Oceanographic Institute, U.S. Coast Guard e National Academy of Sciences, voltados para aplicações em Oceanografia e Hidrografia.

- A coordenação do programa sensores remotos da Nasa era de responsabilidade do Earth Resources Survey, no qual foram investidos 6,5 milhões de dólares no ano de 1966 para a sua fase de implantação.

Pela análise do primeiro relatório oficial do Projeto Sere (MACHADO, 1968), o programa de sensoriamento esboçado para o Brasil procurou reproduzir a estrutura adotada pelo programa norte-americano envolvendo diversas instituições de pesquisa sob a coordenação da Cnae: Departamento de Pesquisa e Experimentação Agrícola do Ministério da Agricultura; Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo; Departamento Nacional de Obras e Saneamento, do Ministério do Interior; Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal; Instituto Brasileiro de Reforma Agrária; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Departamento Nacional de Produção Mineral; Diretoria de Hidrografia e Navegação e Instituto de Pesquisas da Marinha, do Ministério da Marinha; Diretoria de Serviço Geográfico, do Ministério do Exército e Associação Nacional de Empresas de Aerofotogrametria.

Por meio de um acordo de cooperação entre o Cnae e a Nasa, um grupo multidisciplinar de 12 pesquisadores realizou um estágio de seis meses no Earth Resources Aircraft Center e no Manned Spacecraft Center, em Houston, Texas. Desse grupo, apenas quatro pertenciam à Cnae. Além desse grupo, havia ainda quatro pesquisadores realizando programas de doutoramento na Universidade de Stanford, com o compromisso de se envolverem no Projeto Sensores Remotos. O documento de esboço do Projeto Sere apresentava também uma programação de contratação de pesquisadores e técnicos até o ano de 1972, de tal forma que a equipe do Cnae alcançasse um quadro equivalente a 43 pessoas. No âmbito da cooperação, a Cnae teria a responsabilidade de obter, instrumentalizar e manter instalações e equipamentos para a realização das missões de simulação, bem como selecionar e levantar informações básicas das áreas testes a serem sensoreadas para atender aos objetivos de aplicação em Agricultura, Geologia, Hidrologia, Hidrografia e Oceanografia.

Os primeiros resultados dessa missão (Missão 96) foram publicados já no ano de 1970, demonstrando o dinamismo do Projeto Sere. Segundo Almeida e Mascarenhas (1970), as imagens obtidas pelo Imageador Infravermelho e pelo Radiômetro IV de Precisão permitiram determi-

nar a distribuição das temperaturas na superfície do mar. Além disso, foi proposto um modelo relacionando a cunha de água fria detectada e a ocorrência do processo de ressurgência. O sucesso do programa norte-americano de sensoriamento remoto e os resultados alcançados pela Missão 96 no Brasil fizeram com que o Cnae/Inpe expandisse o escopo do projeto.

Em 1971 foi publicada a “Proposta de pesquisa submetida ao Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (ex-Cnae), denominado Expansão do Projeto Sere. Nessa revisão de objetivos inclui-se, como parte do Projeto Sere, o desenvolvimento de competência nacional na recepção e processamento de dados do satélite norte-americano ERTS (futuro Landsat-1), que seria lançado em 1972.

O objetivo não era mais apenas o de avaliar a utilidade da tecnologia de sensoriamento remoto, mas também participar do desenvolvimento tecnológico em segmentos significativos dessa atividade. Isso envolvia estudos básicos de interação entre a radiação eletromagnética e a matéria, o desenvolvimento de métodos de processamento de imagens e de automação dos procedimentos de interpretação de imagens, além do domínio da cadeia que vai do rastreamento do satélite à produção de imagens de satélite prontas para serem utilizadas para aplicações em diferentes áreas.

Em 1972, o Inpe, iniciou um curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto, visando à qualificação de pessoal para atender necessidades básicas do próprio instituto. A partir de 1978, por meio de bolsas de estudo e convênios, o Inpe passou a formar pessoal qualificado para trabalhar com outros órgãos governamentais e/ou particulares.

É nesse ponto da história do Projeto Sere que sua trajetória começa a diferir daquela adotada pelo Japão e pela Índia. Esses países passaram a incluir em suas metas o desenvolvimento de competência para especificar e implementar missões de sensoriamento remoto para atender a objetivos estratégicos não só de aplicações da tecnologia espacial, mas também de domínio dessa tecnologia. Com o desenvolvimento da tecnologia espacial, ficavam cada vez mais difíceis as negociações de acesso aos dados de sensoriamento remoto, bem como de acesso à tecnologia de implantação de estações de recepção de dados de novos sensores.

O custo envolvido na modernização de estações de recepção e processamento, e dos contratos de manutenção, tornou-se um fator limitante ao avanço das aplicações e da própria difusão de tecnologia. A dificuldade de realização de acordos internacionais que contemplassem a transferência de tecnologia e o intercâmbio entre pesquisadores de nacionalidades diferentes aumentou muito. Apenas no final da década de 1980, o Brasil se une à China para a realização do Programa Cbers, que envolve a construção compartilhada de dois satélites de sensoriamento remoto. No capítulo “O programa espacial brasileiro” discute-se mais pormenorizadamente as ações brasileiras no campo espacial.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, E. G.; MASCARENHAS Jr., A. S. *Relatório final da fase C: oceanografia e hidrografia LAFE-135*. PR – Conselho Nacional de Pesquisas, Comissão de Atividades Espaciais, São José dos Campos, 1970. 94p.

BILLE, M. A.; LISHOCK, E. R. *The first space race: launching the world's first satellites*. College Station: Texas A&M University Press. 2004. 214p.

BUTRICA, A. J. (Ed.). *Beyond the ionosphere: fifty years of satellite communication*. Nasa SP-4217, 1997.

COLLINS, F. S.; MORGAN, M.; PATRINOS, A. The human genome project: lessons from large-scale biology. *Science*, n. 300, p. 286-290, 2003.

EZELL, L. N. NASA historical data book, 1958-1968. v. II: programs and projects 1958-1968. *The NASA historical series*, NASA SP-4012. Washington, National Aeronautics and Space Administration, 1988.

LAMB, L. E. *Inside the space race: a space surgeons's diary*. Texas, Synergy Books, 2006.

MACHADO, J. B. Esboço de programa de pesquisas em sensoriamento remoto de recursos naturais. *Relatório Técnico LAFE-073*, PR – Conselho Nacional de Pesquisas, Comissão de Atividades Espaciais, São José dos Campos, 1968. 47p.

NASA. *Aeronautics and astronautics: an American chronology of science and technology in the exploration of space, 1915-1960*. Washington, National Aeronautics and Space Administration. NASA-TM-80521, 1961.

NASA. 2007. Disponível em: <http://history.nasa.gov/nltr24-1.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

NASA. FY 2008 performance and accountability report. 2008. 234p. Disponível em: <http://www.nasa.gov/pdf/291255main_NASA_FY08_Performance_and_Accountability_Report.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2010.

NIMMEN, J. V.; BRUNO, L. C.; ROSHOLT, R. L. *NASA historical data book, 1958-1968*, v. I: NASA Resources. Washington: Nasa, 1976.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). *Earth science and applications from space National imperatives for the next decade and beyond*. Washington: The National Academies Press, 2007. 456p.

ROBERTO JUNIOR, V. *Ferramenta auxiliar para identificação de regiões codificadoras em organismos eucariotos – EXONBR*. 2007. Tese de Doutorado em Ciências – Engenharia Civil – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

RUMERMAN, J. A. C. *NASA historical data book*, v. VII: NASA launch systems, space transportation, human spaceflight, and space science 1989-1998. Nasa-SP-2000-4012, 2009.

SEIBEL, L. F. B. *Bio-AXS: uma arquitetura para integração de fontes de dados e aplicações de biologia molecular*. 2000. Tese de Doutorado em Informática – Ciência da Computação – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

TOMAYKO, J. *Computers take flight: a history of NASA's pioneering digital fly-by-wire project*. The Nasa History Series. NASA SP-2000-4224, Washington: Nasa, 2000.

ZAGATTO, E. A. G.; SÁ, S. M. O. The development of analytical chemistry in Brazil: retrospective and expectations. *Journal of the Brazilian Chemistry Society*, v. 14, n. 2, 2003.

