

Do Espaço à Terra: pesquisas e tecnologias espaciais em benefício da sociedade

Coletânea de Artigos
Desmonte do Estado e Subdesenvolvimento:
Riscos e desafios para as organizações e as
políticas públicas federais



ARCA Desenvolvimento

afipea

Sindicato Nacional dos Servidores do Ipea | Associação dos Funcionários do Ipea

Do Espaço à Terra: pesquisas e tecnologias espaciais em benefício da sociedade

SINDCT: Sindicato Nacional dos Servidores na Área de Ciência e Tecnologia (Setor Aeroespacial)

ARTIGO

**Do Espaço à Terra:
pesquisas e tecnologias espaciais em benefício da sociedade**

Autor - SINDCT: Sindicato Nacional dos Servidores na Área de Ciência e Tecnologia (Setor Aeroespacial)

A história do INPE (Instituto de Pesquisa Espacial) é marcada pela produção de ciência básica e aplicada sob a perspectiva de gerar contribuições para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental do país. Esta diretriz foi definida por um de seus primeiros diretores, Fernando de Mendonça, que além dessa preocupação, também acreditava que seria fundamental produzir ciência de excelência e reconhecida internacionalmente. Para Mendonça não existia ciência de terceiro mundo, ela só seria possível se ambicionasse ser de primeiro mundo ou inovadora.

A apresentação da trajetória histórica das atividades do INPE, neste capítulo, tentará respeitar a ordem de criação de cada uma de suas cinco grandes áreas científicas e tecnológicas:

- Ciências Espaciais e Atmosféricas;

- Meteorologia, hoje centrada no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC);
- Observação da Terra, responsável por estudos e monitoramentos ambientais com uso de tecnologias de sensoriamento remoto e geoinformação;
- Engenharia e Tecnologia Espacial, e, mais recentemente,
- Centro de Ciência do Sistema Terrestre, focado nos estudos sobre mudanças do clima, impactos, mitigação e adaptação.

O INPE surgiu no início da década de 1960, em meio a um processo de institucionalização de órgãos de fomento à ciência, como o CNPq e a CAPES, criados em 1951, considerados essenciais à industrialização e ao desenvolvimento do País. O CNPq e a CAPES tinham como objetivo incentivar as atividades de pesquisa e desenvolvimento e promover o aperfeiçoamento de pessoal de nível superior, ampliando os cursos de mestrado e



doutorado. O desfecho da Segunda Guerra Mundial deixara evidente a importância de se estabelecer uma ampla infraestrutura científica e de alta qualidade para promover o desenvolvimento da sociedade (MOTOYAMA, 2004).

No final dos anos 1950, as atividades espaciais no mundo começavam a dar seus primeiros passos. A tecnologia de lançadores havia avançado no final da Segunda Guerra Mundial (CASTRO, 2016). Estados Unidos e União Soviética competiam pela supremacia do domínio das tecnologias espaciais, mas também pela hegemonia militar, econômica e ideológica sobre as nações.

O Brasil não tardou a seguir um caminho semelhante. Em fevereiro de 1961, astrônomos amadores da Sociedade Interplanetária Brasileira (SIB) entregaram uma carta ao presidente Jânio Quadros, destacando a necessidade de se criar uma instituição que ficasse responsável pelas atividades espaciais no país. Em abril, Yuri Gagarin, astronauta russo, consagrou-se como o primeiro homem a chegar ao espaço. Em julho, Gagarin foi recebido e condecorado por Jânio Quadros e, um mês depois, no dia 3 de agosto, o presidente assinou o decreto de criação do Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE).

O engenheiro Fernando de Mendonça, formado no ITA e realizando doutorado na Universidade de Stanford, nos Estados Unidos, foi convidado a elaborar relatórios que definiriam as atividades de pesquisa dessa nova instituição. Mendonça participava diretamente de reuniões e discussões sobre o programa espacial da NASA, e se inspirou nessa experiência para definir como seriam as atividades da CNAE – Comissão Nacional de Atividades Espaciais.

1. Cooperação Internacional estimula as pesquisas espaciais e atmosféricas

Os primeiros anos da CNAE foram dedicados às ciências espaciais e atmosféricas. Nesse

momento, a reduzida atividade solar dos **Anos Internacionais do Sol Calmo** (1964-1965) estimulou as pesquisas, em âmbito internacional, nas áreas de geofísica, aeronomia e magnetismo. O interesse de pesquisadores estrangeiros na coleta de dados na faixa equatorial trouxe a oportunidade de o INPE se inserir na pesquisa internacional.

Além do interesse pelo uso de dados para as pesquisas, as atividades de campanha científica seriam fundamentais à formação de especialistas na área de instrumentação. A CNAE propôs ao Ministério da Aeronáutica a construção de uma base para o lançamento de foguetes que levariam a bordo cargas úteis científicas.

O Centro de Lançamento de Foguetes da Barreira do Inferno (CLFBI) foi instalado em Natal (RN), e inaugurado em 1965, com o lançamento de um Nike-Apache, foguete da NASA. Até 1970, foram cerca de 230 lançamentos de foguetes estrangeiros e nacionais, através do projeto Sondagem Aeronômica com Foguetes (SAFO). Posteriormente, houve a cooperação com a agência espacial francesa, o *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), que equipou o CLBI com uma moderna estação de rastreamento e controle, em troca do uso do Centro.

Com os estímulos às pesquisas, a CNAE promoveu, em 1965, o Segundo Simpósio Internacional de Aeronomia Equatorial (SISEA), como resultado de cooperação com a NASA. Em 1968, a CNAE começou a realizar campanhas de lançamento de balões estratosféricos em apoio às pesquisas nas áreas de aeronomia, astrofísica e geofísica. Foram realizadas medidas de raios-X, na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, com lançamento de cerca de 130 balões.

O avanço das ciências espaciais do INPE¹ permitiu que, em 1974, o Instituto sediasse a 17ª Reunião do Comitê de Pesquisa Espacial (COSPAR). No início dos anos 1980, com a implementação do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), pesquisas em geofísica, física da alta atmosfera, meteorologia, clima e oceanografia começaram a ser desenvolvidas no continente antártico. Em meados dos anos 1980, o Laboratório

¹ Em 1971, a CNAE passou a se chamar Instituto de Pesquisas Espaciais.



de Ozônio iniciou medidas na Antártida. Os estudos na área ganharam grande visibilidade na sociedade tendo em vista a redução da camada de ozônio na alta atmosfera e os riscos associados à saúde humana e ao aumento do aquecimento global do planeta.

As Ciências Espaciais, nessa época, participaram de novas campanhas internacionais de coleta de dados. Entre elas, destacaram-se o Experimento Troposfera Global na Camada Limite sobre a Atmosfera da Amazônia (GTE/ABLE), na década de 1980, em colaboração com a NASA e com outras organizações nacionais e estrangeiras; e o *Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil* (SCAR-B), em 1995, também em colaboração com a NASA. Tais campanhas, além de trazerem experiência aos pesquisadores do INPE, eram oportunidades para produzir novos artigos científicos em parceria com pesquisadores estrangeiros.

As tempestades magnéticas e ionosféricas, geradas pela atividade solar, além das **bolhas de plasma**, fenômeno que ocorre na região equatorial do campo magnético da Terra, têm sido investigados por pesquisadores do INPE desde a década de 1970. O tema ganhou maior relevância devido aos impactos produzidos por estes fenômenos em sistemas de comunicação e telecomunicação via satélite, interferindo na transmissão de dados de GPS, satélites, aviões e sistemas elétricos.

Em decorrência dos avanços dessas pesquisas, em 2007, o INPE criou o programa de Clima Espacial EMBRACE – Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial, com o objetivo de medir e modelar a interação Sol-Terra e seus efeitos no espaço próximo e na superfície do território brasileiro. Em 2008, o Embrace foi nomeado Centro de Alerta Regional do Brasil para Previsão do Clima Espacial, membro da *International Space Environment Services* (ISES), organização que discute e propõe mecanismos de alerta e de procedimentos de defesa para os sistemas tecnológicos da era espacial.

O EMBRACE também foi nomeado interlocutor oficial do Brasil nas questões de Clima Espacial na Organização Meteorológica Mundial (OMM), trabalhando nas novas regras

internacionais de regulação de procedimentos de decolagem, voo e aterrissagem da Aviação Civil. Em 2014, como extensão dessas atividades, foi criado o Laboratório Conjunto Brasil-China para Clima Espacial, para gerar produtos computacionais para aplicações de clima espacial.

A experiência adquirida ao longo de todos esses anos, levou as Ciências Espaciais e Atmosféricas a propor satélites científicos especificados com as equipes de Engenharia e Tecnologia Espacial do INPE. São os satélites Equars, dedicados ao monitoramento global da atmosfera na região equatorial, e o Mirax, para investigações no campo da astronomia e astrofísica.

Em 2000, foi formado um grupo de pesquisa, na área de astrofísica, sobre ondas gravitacionais que construiu e iniciou a operação de uma antena esférica para detectar o fenômeno, que não havia sido detectado até aquele momento, mas previsto pela Teoria Geral da Relatividade, de Albert Einstein. A detecção de ondas ocorreu em 2015, pelo Observatório Interferométrico de Ondas Gravitacionais (LIGO), que contava com a colaboração de cientistas do INPE. A detecção das ondas gravitacionais rendeu o prêmio Nobel de Física à equipe do LIGO, em 2017.

2. O uso de dados de satélites como estímulo à pesquisa aplicada

A evolução dos satélites meteorológicos e de sensoriamento remoto, já na década de 1960, e a possibilidade de se desenvolver novos produtos a partir de suas imagens, estimulou a CNAE, na época, a criar dois grandes projetos que estruturaram duas grandes áreas de pesquisa do Instituto. Em 1966, foi criado o projeto Meteorologia por Satélite (MESA), baseado na recepção de imagens meteorológicas de satélites ESSA (*Environmental Science Services Administration*), dos Estados Unidos, que passou a se chamar NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

O outro projeto, o SERE (Sensoriamento Remoto), teve início em 1967 e envolveu o treinamento de pessoal na NASA, nos Estados Unidos, com sobrevoos com câmeras, radares e



sensores para medidas e levantamentos geológico, agrícola, oceanográficos do território brasileiro (OLIVEIRA, 1991).

Em 1973, foi instalada no INPE de Cuiabá (MT), uma estação para a recepção e gravação de dados do satélite ERST-1, que passaria a se chamar Landsat-1. O Brasil foi o terceiro país no mundo a receber as imagens desse satélite. Tal iniciativa abriu caminho para investimentos nos anos 1980 que permitiram a recepção de dados de outros satélites de sensoriamento remoto estrangeiros.

O uso de satélites de comunicação foi outra área de interesse do INPE, que teve como objetivo, além da capacitação tecnológica de seus especialistas, promover o ensino e a educação em locais remotos do país. No início dos anos 1970, foi criado o projeto Satélite Avançado de Comunicações Interdisciplinares (SACI), que previa a utilização de satélites de telecomunicações da NASA para a transmissão de conteúdos educacionais a estudantes, e de treinamento a professores. O projeto-piloto abrangeu escolas do Rio Grande do Norte entre 1973 a 1975 e, embora não tenha prosperado, deixou uma grande experiência para os especialistas do INPE.

Por outro lado, as áreas de sensoriamento remoto e de meteorologia avançaram. Na área de sensoriamento remoto, os resultados começaram a se tornar mais evidentes nos anos 1970, quando foi realizado o 1º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, reunindo diversos estudos com uso de imagens de satélite.

O primeiro trabalho sobre o desmatamento na região amazônica a partir de imagens de satélite foi realizado nessa época, em parceria com o IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal). Essa experiência foi importante para que, anos depois, em 1989, o governo brasileiro solicitasse ao INPE o levantamento do desmatamento da região amazônica. O governo vinha sofrendo pressão e críticas da comunidade internacional pelo descontrole do desmatamento na Amazônia. O presidente José Sarney criou então o Programa Nossa Natureza, através do qual o INPE faria o levantamento de áreas de corte raso de floresta primária na região. Desta forma começou o Projeto Desflorestamento da Amazônia Legal (PRODES). Atualmente, os dados do PRODES,

junto com outros dados de monitoramentos do INPE para a região, fornecem subsídios à formulação de políticas e ações de fiscalização ambiental nas áreas de floresta da Amazônia.

Para a realização do PRODES e de outros monitoramentos coordenados pelos INPE, são utilizadas tecnologias de sensoriamento remoto e também softwares desenvolvidos com base na ciência da geoinformação. Os primeiros desenvolvimentos nessa área iniciaram em 1974, quando foi adquirido um sistema de processamento de imagens, o IMAGE-100, que estimulou a formação de uma equipe para implementar algoritmos e um programa de pós-graduação na área.

Como resultado desse esforço, em 1986, foi lançado o Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM), integrado a um sistema de informação geográfica (SGI), o SITIM/SGI, utilizado posteriormente por 150 universidades e institutos de pesquisa ao longo de 10 anos. Em 1991, iniciou-se o desenvolvimento de um sistema mais avançado, o SPRING. A partir de 1996, o software foi liberado pela Internet e em 2006 seus códigos fontes foram abertos aos usuários.

Ao final dos anos 1990, a equipe responsável por essas ferramentas iniciou o desenvolvimento de um novo sistema com base em um gerenciador de banco de dados (SGBD). Tal perspectiva motivou o desenvolvimento da biblioteca TerraLib, de código fonte aberto. A TerraLib suporta diversos tipos de aplicações e passou a ser a base para o desenvolvimento de novas ferramentas, como o TerraAmazon, utilizada nos monitoramentos do PRODES, TerraClass e DETER.

O DETER (Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real) foi implementado a partir de uma demanda do Ministério do Meio Ambiente com o objetivo de aperfeiçoar o controle e o combate ao desmatamento na Amazônia. Em operação desde 2004, o sistema gera alertas de desmatamento, permitindo ações de fiscalização rápidas e eficazes. O sistema foi desenvolvido a partir de uma pesquisa de doutorado do programa do INPE.

O projeto TerraClass foi desenvolvido alguns anos depois, a partir de uma parceria do Centro



Regional da Amazônia (INPE/CRA), do INPE, com a Embrapa. Seu objetivo é compreender os processos e a dinâmica de ocupação e uso da terra na Amazônia. Desde 2010, o TerraClass divulgou três mapeamentos, referentes aos anos de 2008, 2010 e 2012.

O trabalho de monitoramento ambiental do INPE vem se ampliando a outros biomas. Recentemente, foram divulgados os dados do PRODES Cerrado, Pantanal e Pampa, com o ano base de 2016. Os dados estão disponíveis no portal TerraBrasilis, também desenvolvido pelo INPE.

3. Das aplicações de satélites às previsões numéricas do tempo e clima

Em 1966, a criação do projeto Meteorologia por Satélite (MESA) estimulou as pesquisas na área, imprimindo a orientação de gerar produtos e serviços que fossem úteis à sociedade. Uma das primeiras iniciativas nesse sentido foi o desenvolvimento de uma estação de recepção de dados meteorológicos (APT). A tecnologia foi transferida à indústria, permitindo a aquisição de diversas estações APT por instituições de pesquisa e empresas.

A partir dos anos 1970, o INPE ampliou as pesquisas e os desenvolvimentos para ampliar a recepção e o processamento de dados de satélites. Iniciou também os primeiros estudos sobre modelagem de previsão de tempo. O INPE recebia e processava imagens dos satélites GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*), NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) e METEOSAT (*Meteorological Satellite*). A partir dessas imagens, desenvolveu aplicações para aperfeiçoar os produtos de previsão de tempo. Os dados dos satélites também seriam utilizados nos primeiros estudos de detecção de focos de queimadas. No início dos anos 1990, com uso de imagens NOAA, TERRA e GOES, o INPE iniciou o monitoramento de focos de queimadas para todo o país, produzindo dados que auxiliam o combate ao fogo pelo corpo de bombeiros e defesa civil.

No início dos anos 1970, as previsões numéricas de tempo, geradas em centros de países desenvolvidos, já demonstravam melhor

confiabilidade em relação às previsões sinópticas ou subjetivas. Pesquisadores da meteorologia do INPE, acompanhando os avanços nessas áreas, propuseram a criação de um centro moderno de meteorologia para o país, que faria uso de supercomputador para gerar as previsões.

Dessa forma nasceu o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), cuja proposta foi aprovada em 1987, pelo então presidente da República, José Sarney. O prédio do CPTEC foi inaugurado em novembro de 1994 e no início do ano seguinte já produzia previsões numéricas de tempo, processadas no supercomputador NEC-SX3. Um ano depois, as previsões de clima sazonal para até três meses começaram a ser fornecidas mensalmente e, alguns anos depois, o modelo regional ETA, com melhor resolução espacial, entrou em operação, gerando previsões de tempo para a América do Sul.

O primeiro modelo global de previsão de tempo foi obtido no *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies* (COLA), dos Estados Unidos, tendo passado por uma adaptação para as condições brasileiras. Entre 1994 e 2007, o CPTEC consolidou suas atividades de pesquisa e monitoramento, conseguindo acompanhar os centros meteorológicos mais avançados, apesar de enfrentar constantes perdas de pessoal e restrições orçamentárias. A implementação das previsões por Ensemble é um exemplo desse esforço, tendo ocorrido alguns anos depois que o Centro Europeu de Previsões de Tempo de Médio Prazo (ECMWF), pioneiro nessa técnica, tivesse implementado este novo sistema que ampliou em muito a qualidade das previsões.

Com o objetivo de se aproximar e atuar em conjunto com outras instituições meteorológicas do país, no final dos anos 1990, o CPTEC começou a produzir e disseminar previsões de consenso de clima sazonal para todo o Brasil. Em 2003, o CPTEC ampliou o leque de previsões, colocando em operação o modelo de previsão de qualidade do ar, que também prevê as trajetórias de plumas de fumaça provenientes do Centro-Oeste do país, chegando a regiões mais ao sul. O modelo tornou-se referência para a NASA. Em 2007, em outra iniciativa, o CPTEC começou a produzir previsões híbridas (empíricas e dinâmicas) sazonais de chuva para toda a América do Sul.



Os resultados de pesquisa e desenvolvimentos do CPTEC contribuíram para que fosse reconhecido, em 2010, como um Centro Produtor Global de Previsões de Longo Prazo, integrando um grupo de 12 centros internacionais reconhecidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), com capacidade para produzir operacionalmente previsões climáticas sazonais com qualidade.

Assim como todas as áreas de pesquisa do INPE, o CPTEC sempre manteve colaborações e acordos de cooperação com instituições científicas e operacionais estrangeiras e nacionais. Em 2013, foi implementado um sistema nacional multimodelo de previsão de clima sazonal, uma colaboração entre o CPTEC, INMET e FUNCEME, agência meteorológica do Ceará, para elaborar previsões climáticas sazonais agregando as previsões produzidas por cada uma das três instituições.

A trajetória de implementação e aperfeiçoamento da modelagem e das previsões numéricas de tempo e clima nas últimas décadas levaram à evolução gradativa da qualidade das previsões meteorológicas e da confiabilidade de suas previsões ao longo do tempo. Em paralelo a esse trabalho científico e operacional, o CPTEC sempre buscou se manter próximo a seus usuários, muitos deles do setor privado, mas também de áreas de governo, além do público geral, oferecendo produtos e serviços específicos.

A demanda por serviços meteorológicos (tempo e clima) se amplia continuamente, fomentados principalmente pelo setor privado, mídia e empresas meteorológicas especializadas. Diferentes setores do governo federal já tiveram o suporte do CPTEC em momentos de crises de déficit hídrico, fornecendo subsídios para o gerenciamento e as tomadas de decisões relacionadas ao uso de recursos hídricos e de energia no país.

4. Mudanças Climáticas: pesquisas se iniciam com vocação pelos estudos ambientais

Nos anos de 1996 e 1997, o INPE liderou o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), em cooperação

com instituições de outros doze países. Em sua fase inicial, o LBA buscava compreender melhor os ciclos da água, energia, carbono, gases e nutrientes na Amazônia e como esses processos eram alterados com o uso da terra pelo homem. O experimento veio confirmar a liderança do INPE na área, ampliando as questões ambientais em sua agenda científica. Tal vocação já se manifestara com a candidatura do INPE, em 1995, para ser sede do Instituto Interamericano de Pesquisa em Mudanças Globais (IAI), aceita posteriormente pelos países membros.

O convite de pesquisadores do INPE para participar da elaboração dos relatórios do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), da ONU, sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas também pode ser visto como um reconhecimento internacional das pesquisas do Instituto na área. O IPCC reúne as maiores autoridades científicas sobre o clima e, em 2007, recebeu o Prêmio Nobel da Paz.

A trajetória das pesquisas do INPE, envolvendo estudos na Amazônia e sobre mudanças climáticas, no início dos anos 2000, prepararam o caminho para a criação do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), em 2008. O objetivo inicial seria desenvolver pesquisas interdisciplinares, que permitissem propor alternativas ao país para um desenvolvimento ambientalmente sustentável frente às mudanças globais do clima. Entre as suas atribuições inclui-se a geração de cenários climáticos, com base na modelagem e nas projeções de aquecimento global, apontadas pelo IPCC.

O CCST, com o suporte de computacional do CPTEC, desenvolve e implementa modelos do Sistema Terrestre, especialmente do Sistema Climático, de seus componentes e interfaces para utilização em estudos sobre mudanças ambientais globais e regionais, para a América do Sul. A modelagem e a produção de cenários no CCST têm evoluído e seus resultados vêm colaborando com diversos projetos e ações, como as contribuições para a IV Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC).

O CCST tem trabalhado junto ao MCTIC e a técnicos consultores em questões de



vulnerabilidade e adaptação, fornecendo dados para projeções climáticas, levantamentos e avaliações de opções de adaptação no contexto dos estudos de impactos, vulnerabilidade e adaptação.

5. A busca pela autonomia no desenvolvimento das tecnologias espaciais

No início dos anos 1970, foi realizada uma grande reformulação das instituições envolvidas nas atividades espaciais. A Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (COBAE), instituída nessa reforma, seria presidida pelo EMFA (Estado Maior das Forças Armadas) e se responsabilizaria pela elaboração da política espacial. Nesse momento, a CNAE passou a se chamar Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Sob a coordenação da COBAE, foi definida uma missão espacial que deveria capacitar o país nas áreas de engenharia e tecnologia espaciais e estruturar um programa completo, incluindo lançadores, base de lançamento e satélites. A MECB foi aprovada em 1979. Coube à Aeronáutica, desenvolver o veículo lançador e toda infraestrutura de lançamento. O INPE ficou responsável pelo desenvolvimento de satélites – dois de coleta de dados e dois de sensoriamento remoto –, pelo sistema de solo para o controle e rastreamento de satélites e pela infraestrutura de processamento e distribuição de dados de satélites.

Em 1987, foi inaugurado o Laboratório de Integração e Testes (LIT), onde os satélites brasileiros seriam montados, integrados e testados. Também pela MECB, foi criado o Centro de Rastreamento e Controle de Satélites (CRC), com unidades em São José dos Campos, Cuiabá e Alcântara. No INPE de Cachoeira Paulista foi instalado o Centro de Missão de Coleta de Dados.

Inaugurado em 1988, o CRC faz o controle e rastreamento dos satélites SCD-1 e o SCD-2, lançados em 1993 e 1998, respectivamente. Os satélites retransmitem dados ambientais coletados por uma rede de plataformas no território brasileiro e países vizinhos. O CRC vem compartilhando, desde 2001, com a China o controle dos satélites CBERS.

Como suporte ao programa espacial e ao desenvolvimento de sistemas espaciais, ainda

foram criados quatro laboratórios no INPE: i) Computação e Matemática Aplicada; ii) Plasmas; iii) Sensores e Materiais; e iv) Combustão e Propulsão de satélites. As atividades nessas áreas estão voltadas à pesquisa básica e ao desenvolvimento de produtos e processos inovadores para o setor espacial. Os laboratórios associados do INPE, além de dar apoio ao programa espacial brasileiro, atendem outros programas estratégicos do país. Junto com a área de Ciências Espaciais e Atmosféricas, contribuem com um alto índice de publicação de artigos científicos em revistas nacionais e internacionais de qualidade.

6. O Programa CBERS: cooperação tecnológica estratégica com a China

Dentro de um contexto de política externa brasileira, que promovia a cooperação entre países em desenvolvimento, e também como uma forma de superar o bloqueio a tecnologias sensíveis, o INPE buscou parcerias no desenvolvimento de tecnologias espaciais. Negociações com a China resultaram num protocolo de cooperação, em 1984, para o desenvolvimento, fabricação e lançamento de dois satélites de sensoriamento remoto de grande porte, e uma vez em órbita, a operação, recepção, o processamento e a disseminação das imagens. Em 1988 foi assinado o protocolo de cooperação entre Brasil e China que previa, pelo Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellites*) o lançamento dos dois satélites. O satélite CBERS 1 foi lançado em 1999 e o CBERS 2, em 2003. Os dois países adicionaram o CBERS-2B ao programa, que seria semelhante aos dois primeiros modelos, com alguns aperfeiçoamentos, e que foi lançado em 2007.

O êxito do programa CBERS motivou a renovação da cooperação e a inclusão de mais dois satélites, os CBERS 3 e 4. Nessa etapa da cooperação, o INPE ampliou sua participação no satélite, de 30% passou a ter 50% das responsabilidades sobre o programa.

Em 2013, o lançamento do CBERS-3 falhou, mas as equipes brasileira e chinesa, em um grande esforço de produção, integração e testes lançaram o CBERS-4 um ano após o lançamento do modelo anterior. Brasil e China decidiram acrescentar um



satélite ao programa, o CBERS-4A, totalmente integrado no LIT, do INPE, e previsto para ser lançado em dezembro de 2019, a partir do Centro de Lançamento de Satélites de Tayuan, na província de Shanxi, na China. Será colocado em órbita pelo lançador Longa-Marcha 4B (LM-4B). Embora seja baseado no projeto do satélite CBERS-4, o novo modelo possui características adicionais, tanto na plataforma de serviço quanto na carga útil.

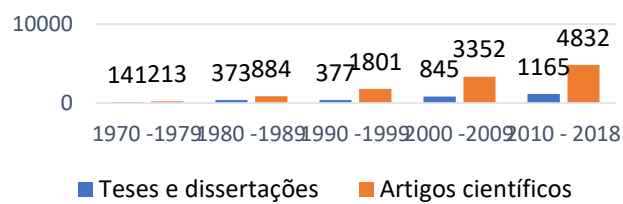
Além do programa CBERS, o INPE desenvolve o programa da Plataforma Multimissão (PMM), estrutura inovadora desenvolvida pelo INPE, capaz de se adaptar a diferentes missões e, assim, reduzir custos de projetos. O primeiro satélite a utilizar a PMM é o Amazonia-1, de sensoriamento remoto, com lançamento previsto para meados de 2020, a partir de uma base na Índia. A PMM será utilizada em projetos de outros satélites do programa Amazônia e também por missões científicas brasileiras, como a do satélite Equars, para estudos de geofísica espacial, e a do Mirax, de astrofísica.

7. Impactos e benefícios socioeconômicos do INPE para a sociedade

Entre os principais resultados do INPE ao longo de sua trajetória pode-se destacar a produção de mais de 11 mil artigos publicados em revistas científicas a partir da década de 1970. A produção científica nas últimas décadas foi crescente, com publicações de artigos em revistas de alto fator de impacto e produção de teses e dissertações (Figura 1), totalizando mais de 2900 no período. Cabe destacar que o INPE possui cooperação com diversas instituições e universidades do exterior, estimulando a produção científica.

As áreas do INPE que mais publicaram artigos científicos são as que integram as Ciências Espaciais e Atmosféricas e os Laboratórios Associados.

Figura 1 - Número de artigos científicos, teses e dissertações de 1970 a 2018



7.1. Cursos para professores e estudantes do ensino básico

Como extensão às atividades de pesquisa e desenvolvimento, o INPE oferece regularmente cursos de curta-duração a professores e estudantes do ensino básico. Entre estes cursos estão: Escola de Combustão, Curso de Inverno de Introdução a Tecnologias Espaciais, Curso de Introdução à Astronomia e Astrofísica (CIAA), Mini-Escola de Física, Uso Escolar do Sensoriamento Remoto para Estudo do Meio Ambiente, Sábados de Introdução à Pesquisa para Adolescentes em Ciências Espaciais, Competição CubeDesign, entre outros.

O INPE também participa de exposições e feiras de ciência e tecnologia, divulgando suas atividades na SBPC e em eventos dentro da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, promovendo portas abertas ao público, além de contar com um programa de visitas durante todo o ano.

7.2. Estímulo à formação de uma indústria espacial brasileira

Como resultado de sua política industrial, o INPE capacitou fornecedores de sistemas e subsistemas espaciais para o desenvolvimento e fabricação de satélites. Os projetos de satélites de coleta de dados e de sensoriamento remoto contribuíram para a criação de uma indústria espacial brasileira, formada por mais de 10 empresas, em sua maioria, instaladas no polo tecnológico de São José dos Campos (SP).

Nos últimos 10 anos, o Instituto investiu nessa indústria uma média superior a 60% de seus dispêndios com a produção de satélites. No escopo dos projetos dos satélites CBERS 3 e 4 e Amazonia-1, de um total de R\$ 350 milhões, R\$ 214 milhões foram destinados às empresas nacionais (Figura 2), gerando empregos de profissionais qualificados no País.

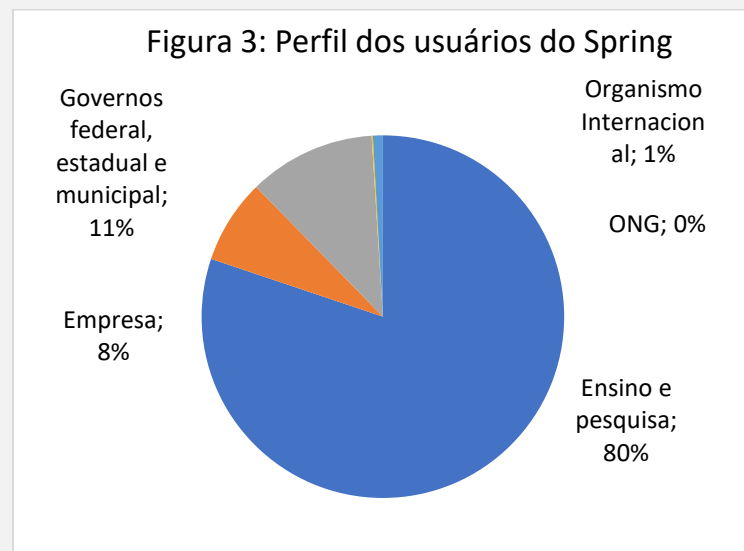


O Programa Espacial Brasileiro possibilitou também a construção do Laboratório de Integração e Testes (LIT) onde são realizadas atividades de montagem, integração e testes funcionais, ambientais e de desempenho dos satélites desenvolvidos pelo INPE. As instalações do LIT são utilizadas também na prestação de serviços tecnológicos para satélites estrangeiros e a diversos setores da indústria, como a eletrônica, automotiva, telecomunicações, de defesa, entre outras. O LIT vem atendendo uma média de 133 pedidos da indústria ao ano.

7.3. Livre acesso a imagens de satélite e a tecnologias de geoinformação

No início dos anos 2000, o INPE adotou uma política de livre acesso a seus dados, liberando as imagens dos satélites CBERS aos usuários, sendo seguido, anos depois, por outras agências espaciais. A medida seria coerente com a visão de desenvolver softwares de código fonte aberto, a exemplo da TerraLib, biblioteca a partir da qual é desenvolvida uma série de ferramentas com diferentes aplicações, como TerraAmazon, TerraView, TerraMa, TerraHidro, entre outros, também de código fonte aberto.

Mesmo o Spring, sistema de informação geográfica desenvolvido nos anos 1990 pelo INPE, que já era disponibilizado livremente pela Internet, teve seu código fonte recentemente aberto. O Spring é utilizado principalmente para fins acadêmicos (Figura 3) e conta com mais de 250 mil usuários cadastrados em todo o mundo.



7.4. Dados abertos ajudam a combater o desmatamento

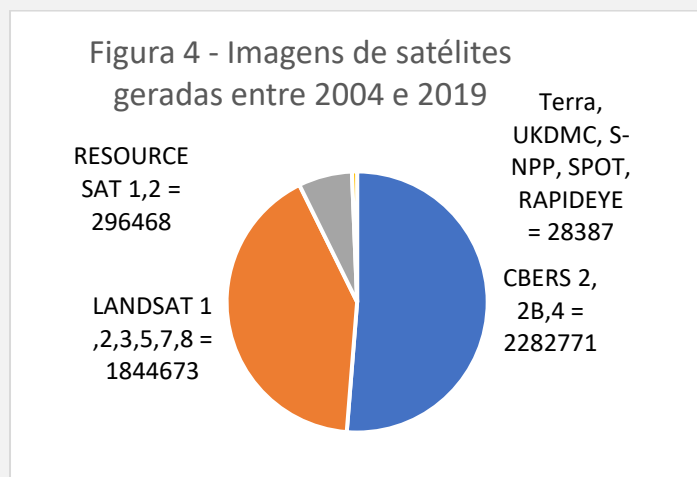
Desde 2003, os mapas do PRODES passaram a ser divulgados na internet e, no ano seguinte, o INPE lançou o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), que fornece alertas de desmatamento e degradação da floresta amazônica em tempo hábil para a fiscalização. Os dados desses dois sistemas são divulgados na plataforma TerraBrasilis (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>), desenvolvida pelo INPE e que traz grande facilidade de acesso, consulta, análise e disseminação dos dados de monitoramentos do INPE.

O PRODES e o DETER são fontes primárias de informações para as decisões do Governo Federal no combate ao desmatamento na Amazônia. Os dados do monitoramento de queimadas, que cobrem todo o país, também são fundamentais às políticas ambientais. É consenso na sociedade e entre especialistas da área que os dados do INPE tiveram um papel crucial na redução do desmatamento da Amazônia. Em 2007,

reportagem da revista Science afirmava: “Brazil’s monitoring system is the envy of the world”.²

Além de subsidiar a formulação de políticas e ações de fiscalização ambiental, os dados do PRODES são utilizados na certificação de cadeias produtivas do agronegócio como a Moratória da Soja e na adoção de Termo de Ajustamento de Conduta da Pecuária - TAC da Carne. Também são utilizados nos Relatórios de Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa, como parte de acordos no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima.

Entre junho de 2004 e setembro de 2019, o INPE gerou quase 4,5 milhões de imagens de satélite solicitadas tanto por usuários do INPE, como usuários externos, demonstrando uma ampla disseminação do conhecimento relacionado ao uso de imagens de sensoriamento remoto no País (Figura 4), promovida pela área de Observação da Terra. As tecnologias são disseminadas desde o final da década de 1960 por meio de seus cursos de pós-graduação, eventos científicos realizados regularmente, e com a disponibilização livre e aberta de seus softwares e imagens pela Internet.



7.5. Previsões meteorológicas trazem ganhos a economia

As previsões do CPTEC agregam informações ambientais, de tempo e clima a agricultores e pecuaristas, empresas geradoras e distribuidoras de energia, de transporte, construção

civil, turismo, lazer, entre outros setores. Pesquisa realizada com usuários de produtos e serviços do CPTEC estimou, para o ano de 2009, ganhos de R\$ 232,8 milhões com o uso de dados meteorológicos, valor que ainda pode estar subestimado (TADEU, 2010).

Apesar da necessidade de atualização de sua base computacional de alto desempenho, o supercomputador do CPTEC vem processando operacionalmente diversos modelos de previsão de tempo, clima sazonal e de qualidade do ar, com alta confiabilidade. Diariamente, são processados dois modelos globais de previsão de tempo para até 15 dias, ambos desenvolvidos pela área de modelagem do CPTEC: o *Brazilian Atmospheric Model*, gerando previsões de tempo para até 11 dias, com resolução de 20 quilômetros; e o modelo global por Ensemble (rodado com 15 membros diferentes ou condições iniciais), com resolução de 100 quilômetros, aproximadamente.

A previsão de tempo regional, para a América do Sul, com resolução de 5 quilômetros, é gerada pelo modelo WRF, para até 3 dias. A previsão ambiental, de poluição atmosférica, é rodada pelo modelo CCATT-BRAMS, com resolução de 20 quilômetros.

As previsões de clima sazonal, divulgadas para até três meses, são geradas por dois modelos globais e um regional. Os dois modelos globais, o atmosférico e uma versão acoplada oceano-atmosfera, geram previsões com resolução de 180 quilômetros. A previsão de clima sazonal, com resolução de 40 quilômetros, é gerada pelo modelo regional ETA. Esse amplo leque de previsões, disponíveis no website do CPTEC, vem permitindo ao INPE oferecer apoio a diferentes áreas de governo, em situações de risco, de seca ou de chuvas intensas, que estão associadas a severos impactos à sociedade.

8. Considerações finais

Em quase 60 anos de história, o INPE adquiriu excelência nas ciências espaciais e atmosféricas mediante a sua inserção em redes internacionais de

² “O sistema de monitoramento do Brasil é a inveja do mundo.”



pesquisas, colaboração com diversas instituições e participação em projetos internacionais. A área produziu significativa produção científica. Ao mesmo tempo, o INPE consolidou competências em estudos ambientais utilizando dados de satélites meteorológicos e de sensoriamento remoto, que ainda abriram caminho para as pesquisas de mudanças climáticas. Além das pesquisas básicas e aplicadas, o Instituto desenvolveu tecnologias para construção de satélites, entre outros artefatos espaciais, em cooperação com outros países, e sempre buscando capacitar a indústria nacional.

Ao longo de sua existência, o INPE promoveu uma série de benefícios sociais, econômicos e ambientais, disponibilizando uma vasta gama de produtos e serviços baseados em conhecimento inovador. Suas áreas de pesquisas fomentaram a formação de comunidades de ensino e pesquisa em suas áreas de atuação. A continuidade e ampliação das atividades espaciais dependem de um decisivo apoio governamental, tal como ocorre em países desenvolvidos. Somente desta forma é possível garantir que a ciência, tecnologia e inovação, produzidas em instituições como o INPE, possam enfrentar e superar os desafios impostos ao país, sejam associados a paradigmas tecnológicos, às ameaças de sistemas produtivos predatórios ao meio ambiente e aos diferentes povos, etnias e populações, principalmente aqueles em condições socioeconômicas desfavoráveis. O governo deve apoiar, sobretudo, uma ciência que esteja alinhada ao desenvolvimento ambientalmente sustentável e à promoção do bem-estar de toda população brasileira e mundial.

Referências Bibliográficas

CASTRO, Adler Homero Fonseca de. **Foguetes no Brasil: do foguete Congreve ao VLS**. Disponível em:

<https://www.academia.edu/8352854/Foguetes_no_Brasil_do_foguete_CONGREVE_ao_VLS>.

Acesso em: 24 set. 2019.

ESCADA, Paulo. **Construção e usos sociais da pesquisa científica e tecnológica: um estudo de caso da Divisão de Processamento de Imagem do INPE**. Tese (Doutorado em Ciência Política) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo,

2010. doi:10.11606/T.8.2010.tde-18102010-114859. Acesso em: 2019-10-02.

FERNANDES, A. M. **A Construção da Ciência no Brasil e a SBPC**. Brasília: UnB, 1990.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Plano Diretor do INPE 2011-2015**. São José dos Campos, 2011. Acesso em: 01/10/2019. Disponível em: http://www.inpe.br/gestao/planejamento/plano-diretor/arquivos/Plano_Diretor_2011-2015.pdf

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Plano Diretor do INPE 2016-2019**. São José dos Campos, 2016. Acesso em: 01/10/2019. Disponível em:

http://www.inpe.br/gestao/planejamento/plano-diretor/arquivos/Plano_Diretor_2016-2019.pdf

MOTOYAMA, S. (Org.). **Prelúdio para uma História: ciência e tecnologia no Brasil**. São Paulo: Edusp, 2004.

OLIVEIRA, F. **Caminhos para o Espaço: 30 anos do INPE**. São Paulo: Editora Contexto, 1991.

PEREIRA, G.R. **Ciência e Sociedade: trajetória do INPE de 1961 a 2007**. Ed. Rima, 2009.

TADEU, L et all. **Análise dos indicadores da 1ª pesquisa sobre o perfil dos usuários do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Cachoeira Paulista: CPTEC, 2010. Acesso em: 02/10/2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/47565248_Analise_dos_indicadores_da_1_pesquisa_sobre_o_perfil_dos_usuarios_do_Centro_de_Previsao_de_Tempo_e_Estudos_Climaticos_CPTEC_do_Instituto_Nacional_de_Pesquisas_Espaciais_INPE_Area_tematica_Infraestrutu.

