

**PROGRAMA DE ESTUDO E MONITORAMENTO BRASILEIRO  
DE CLIMA ESPACIAL  
(EMBRACE)**



**RELATÓRIO DESCRITIVO**

**São José dos Campos, 01 de julho de 2021.**

## SUMÁRIO

<b>1. OBJETO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
2.1. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (2016-2022).....	3
2.2. Missão e Objetivos Estratégicos do INPE .....	4
<b>3. PROGRAMA EMBRACE.....</b>	<b>5</b>
3.1. Proposta para o Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial .....	5
3.2. Missão e Objetivo do Programa EMBRACE .....	7
3.3. Estrutura do Programa EMBRACE .....	8
3.4. Redes de Sensores do Programa EMBRACE .....	9
3.5. Produtos de Monitoramento de Clima Espacial.....	11
3.6. Produtos de Previsão de Clima Espacial.....	14
3.7. Parcerias Estabelecidas.....	17
3.8. Iniciativas de Colaborações em Andamento.....	20
3.9. Perspectivas Futuras para o Programa .....	21
3.10. Desdobramentos Importantes do Serviço de Clima Espacial para o EMBRACE .....	22
3.11. Levantamento de Necessidades Futuras .....	23
3.12. Missões em Desenvolvimento e Planejamento .....	24
3.13. Equipe de Pesquisadores do Programa EMBRACE .....	25
<b>4. AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DOS SERVIÇOS PRESTADOS PELO PROGRAMA EMBRACE</b>	<b>26</b>
4.1. A Importância da Participação do Serviço de Clima Espacial nas Cooperações Internacionais .....	27
<b>5. CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO DO PROGRAMA EMBRACE.....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO I ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DA CEA PARA DISCUSSÃO DA PROPOSTA DE CLIMA ESPACIAL (22/08/2007).....</b>	<b>28</b>
<b>ANEXO II PROPOSTA PARA O PROGRAMA BRASILEIRO DE MONITORAMENTO E PREVISÃO DE CLIMA ESPACIAL .....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO III ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DA CEA (12/12/2007) .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO IV ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DO COMITÊ ASSESSOR DA CEA (25/02/2008).....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO V CARTA CONVITE PARA O INPE SER UM CENTRO DE TREINAMENTO PRÁTICO EM METEOROLOGIA ESPACIAL.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO VI CARTA DE ACEITE DO INPE PARA SER UM CENTRO DE TREINAMENTO PRÁTICO EM METEOROLOGIA ESPACIAL .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO VII DESIGNAÇÃO DO GERENTE GERAL DO PROGRAMA EMBRACE COMO REPRESENTANTE BRASILEIRO DA WMO .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO VIII INFRAESTRUTURA PARA O SISTEMA CIENTÍFICO BRASILEIRO DE PREVISÃO E MONITORAMENTO DO CLIMA ESPACIAL.....</b>	<b>76</b>

## 1. OBJETO

O objeto deste documento é apresentar o **Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE)** do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O Programa é contextualizado dentro da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, e dentro da missão e dos objetivos estratégicos do INPE. Um breve histórico é apresentado sobre a sua criação, missão e objetivos, estrutura e os principais aspectos relacionados à sua execução, cooperações nacionais e internacionais, perspectivas futuras, bem como os principais benefícios derivados de suas atividades. Mais informações também podem ser obtidas no portal do Programa EMBRACE<sup>1</sup>.

## 2. CONTEXTUALIZAÇÃO

### 2.1. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (2016-2022)

A Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) é um documento elaborado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), com a finalidade de orientar ações estratégicas para o desenvolvimento nacional por meio de iniciativas que valorizem o avanço do conhecimento e da inovação.

A edição vigente, relativa ao período de 2016-2022, estabelece um robusto e articulado Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) orientado à busca de soluções para os grandes desafios sociais, ambientais e econômicos, contribuindo para a construção das bases do desenvolvimento sustentável do país.

A ENCTI 2016-2022 elenca os seguintes temas em CT&I tidos como estratégicos para o desenvolvimento, autonomia e soberania nacional: aeroespacial e defesa; água; alimentos; biomas e bioeconomia; ciências e tecnologias sociais; clima; economia e sociedade digital; energia; minerais estratégicos; nuclear; saúde; e tecnologias convergentes e habilitadoras.

Em 2013 ficou estabelecido na reunião do subcomitê técnico científico da Organização das Nações Unidas (ONU), que a ciência do clima espacial seria considerada como potencial causador de desastres naturais, e que os Estados seriam estimulados a proteger sua infraestrutura na área aeroespacial, defesa, tecnologia social, clima e energia ([Reunião da 50ª Sessão do Subcomitê Técnico Científico](#), Viena, 11-22 Fevereiro de 2013). Neste documento o Programa EMBRACE consta como um dos 14 centros regionais de alerta. Desta forma, o clima espacial é enquadrado em várias iniciativas do ENCTI.

Relacionado ao clima, e em resposta a uma diretriz estabelecida no ENCTI, em 2018 foi elaborado o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para o Clima (PACTI-Clima). Este documento apresentava a orientação estratégica voltada à

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/pt/>

implementação de ações que buscam avançar no domínio do conhecimento sobre o sistema climático e no desenvolvimento de instrumentos e ferramentas relacionadas ao fornecimento de informações, para subsidiar tomadas de decisão. Aspectos referentes à segurança alimentar, energética, hídrica e ambiental norteiam a elaboração do plano e perpassam todas as iniciativas e ações propostas neste documento.

O PACTI-Clima estabelece 7 linhas temáticas, quais sejam:

- Linha temática 1 – Fomento à Pesquisa sobre a Compreensão e Modelagem do Sistema Climático Global.
- Linha temática 2 – Fomento à Pesquisa sobre Impactos das Mudanças Climáticas e Vulnerabilidades dos Sistemas Ambientais, Sociais e Econômicos.
- Linha temática 3 – Fomento à Pesquisa sobre Gestão dos Riscos, Monitoramento e Previsão de Desastres Naturais.
- Linha temática 4 – Fomento à Pesquisa, ao Desenvolvimento e à Inovação, e apoio à Implementação de Tecnologias, voltadas à Adaptação e Redução de Emissões de GEE.
- Linha temática 5 – Desenvolvimento de Sistemas e Ferramentas de Apoio à Tomada de Decisão.
- Linha temática 6 – Divulgação Científica e Elaboração de Relatórios Nacionais de Avaliação sobre Mudança do Clima.
- Linha temática 7 – Divulgação Científica e Elaboração de Relatórios Nacionais de Avaliação sobre Mudança do Clima.

O Programa EMBRACE está relacionado às linhas temáticas 1 e 3.

## **2.2. Missão e Objetivos Estratégicos do INPE**

O INPE possui a missão de produzir ciência e tecnologia nas áreas espacial e do ambiente terrestre e oferecer produtos e serviços singulares em benefício do Brasil. Neste sentido, o Programa EMBRACE está inserido dentro dos objetivos do Instituto, no que se refere à:

- Ampliar e consolidar competências em ciência, tecnologia e inovação nas áreas espacial e do ambiente terrestre para responder a desafios nacionais.
- Desenvolver, em âmbito mundial, liderança científica e tecnológica nas áreas espacial e do ambiente terrestre enfatizando as especificidades brasileiras.
- Ampliar e consolidar competências em previsão de tempo e clima e em mudanças ambientais globais.
- Promover uma política espacial para a indústria visando atender às necessidades de desenvolvimento de serviços, tecnologias e sistemas espaciais.

- Fortalecer o relacionamento institucional do INPE em âmbitos nacional e internacional.
- Prover a infraestrutura adequada para o desenvolvimento científico e tecnológico.

### **3. PROGRAMA EMBRACE**

#### **3.1. Proposta para o Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial**

O Sol gera distúrbios periódicos, conhecidos como tempestades solares e explosões solares, que dão origem a efeitos que modificam o espaço próximo à Terra. Embora esse clima espacial tenha um impacto mínimo sobre os seres humanos, no curso normal dos eventos, ele pode ter um impacto devastador nos sistemas de geração de energia elétrica, bem como na infraestrutura eletrônica e de computadores, principalmente em sistemas embarcados em satélites com serviços que mantêm a sociedade moderna funcionando.

As ciências relacionadas à pesquisa em clima espacial, apesar de antigas, tornaram-se muito importantes à sociedade com o início da era espacial na década de 1960. O INPE, com sua fundação em 1961, foi o instituto precursor destas atividades construindo, a partir dessa iniciativa, o maior grupo de especialistas do País em aeronomia e geofísica espacial, que em conjunto com a física solar puderam construir o programa de clima espacial do Brasil.

No INPE, a proposta de criação de um Programa de Clima Espacial surgiu durante a primeira etapa do Planejamento Estratégico (PE), desenvolvido entre junho e dezembro de 2006. Nessa etapa, o Grupo Temático GT7 – Prospecção Científica e Tecnológica (coordenado pelo Dr. Odím Mendes Junior, da Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA) representando seu coordenador Dr. Antonio Lopes Padilha) estava encarregado de identificar tendências gerais de desenvolvimento científico e tecnológico nas áreas de atuação do INPE e que pudessem gerar novas oportunidades para o Instituto. Entre as propostas apresentadas pelo grupo estava o estabelecimento de um núcleo de atividades em Clima Espacial, o qual previa a implantação de um centro de monitoramento magnetosférico-ionosférico e a disseminação de informações para a sociedade.

Em continuidade ao PE, o Grupo Gestor desenvolveu durante os meses de janeiro e fevereiro de 2007 uma análise dos estudos efetuados pelos Grupos Temáticos, consolidando-os em um conjunto de temas julgados como os resultados mais expressivos de todo o processo. Entre esses temas encontrava-se a proposta de estabelecer um programa de pesquisas do Clima Espacial.

Com a divulgação dos resultados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês) no final de janeiro de 2007, o Ministro de Ciência e Tecnologia, Sérgio Rezende, solicitou ao INPE, em 31 de janeiro de 2007, que

apresentasse ao Ministério um plano para criação de um programa nacional de mudanças climáticas. Nessa data, o então diretor do INPE, Dr. Gilberto Câmara Neto, solicitou ao coordenador da CEA, Dr. Antonio Lopes Padilha que em conversa com o Dr. Carlos Afonso Nobre (Coordenador do Centro de Ciência do Sistema Terrestre) apresentasse um plano nacional de mudanças climáticas com foco nas ciências do Sistema-Terrestre. Em comunicação pessoal com o Dr. Carlos Afonso Nobre o coordenador apresentou o pensamento da CEA, que em suas palavras dizia:

*“Em termos de mudanças climáticas, há aqui grupos que lidam diretamente com os efeitos desse processo (ozônio, radiação ultravioleta, incidência de raios). Outro margeia esses efeitos (levantamento de propriedades da litosfera) e há os que podem trazer informação indireta sobre parte do balanço radiativo no topo da troposfera, agente das mudanças climáticas (monitoramento direto do Sol, detecção de radiação relativística de explosões solares, análise de dados de satélite, efeitos ionosféricos). Embora o último relatório do IPCC mostre que o efeito total da variação na irradiação solar seja inferior a 10% do desequilíbrio (forçante) radiativo, não vejo como se possa deixar esse tema de fora dispondo da mão de obra qualificada que há na CEA. Também, a possibilidade de incluir esses grupos em um programa desse porte pode ser o ponto de partida para direcioná-los a outras atividades (um torque para orientar o transatlântico ou passagem do quadrante de Bohr para o quadrante de Pasteur, nos dizeres do Gilberto). Diferentes temas poderiam surgir a partir da montagem dessa infra-estrutura, o que tornaria possível, por exemplo, modelagem e previsão de clima espacial, com impacto em telecomunicações, redes de transmissão de energia, dutos para transporte de óleo e gás, aerolevantamentos geofísicos, posicionamento por GPS,... (havendo necessidade posso expandir o tema, incluindo slides).”*

Desta forma, nasceu a iniciativa que resultaram na criação do Programa do Clima Espacial no INPE dentro da CEA. Em 22 de agosto de 2007 foi realizada uma reunião extraordinária da CEA para discutir a proposta de criação do programa de clima espacial. Nesta ocasião, a proposta foi aceita por consenso pelos presentes, e também foi criada uma Comissão para detalhar o programa de pesquisas do Clima Espacial, (ANEXO-I).

A proposta para o Programa Brasileiro de Monitoramento e Previsão de Clima Espacial do INPE foi apresentada pelo coordenador da CEA para a sua comunidade em reunião extraordinária, ocorrida em 12 de dezembro de 2007 (ANEXO-II e ANEXO-III).

Como resultado da iniciativa para a criação de um Programa Brasileiro de Clima Espacial no INPE, foi proposto um projeto de vulto ao Ministério de Ciência e Tecnologia o qual foi incluso no Projeto de Lei Orçamentária Anual (PLOA) e encaminhado ao Congresso Nacional. O projeto de grande vulto foi aprovado pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), com código 10GK disponibilizando um valor inicial de R\$ 1 milhão de reais para o ano de 2008.

Assim, em 25 de fevereiro de 2008, na reunião extraordinária do Comitê Assessor da CEA, a proposta de criação do Programa EMBRACE foi apreciada e aprovada,

onde também foram escolhidos os membros do conselho científico e os membros do comitê executivo do programa (ANEXO-IV).

E finalmente em 2011, outra ação orçamentária foi aprovada para financiar o Programa EMBRACE na operação da infraestrutura montada pelo projeto, ora vigente, e o desenvolvimento das demais atividades previstas para o mesmo.

### **3.2. Missão e Objetivo do Programa EMBRACE**

A missão do Programa EMBRACE é monitorar o ambiente do espaço Sol-Terra, a magnetosfera, a atmosfera superior e os efeitos de correntes elétricas induzidas no solo para prever possíveis influências nas atividades tecnológicas, econômicas e sociais. A infraestrutura a ser protegida inclui todos os sistemas de comunicações Terra-Satélites (além de Terra-Terra) e equipamentos a bordo onde se encontram os serviços de geo-referenciamento, comunicação social, de segurança das comunidades afastadas e da aviação civil. Além disso, os grandes condutores das linhas de alta tensão espalhadas pelo País. O serviço visa evitar e/ou mitigar os efeitos de apagões (blackout) nas comunicações terrestres de rádio que utilizam alta frequência (HF), blackout no fornecimento de energia, falhas em equipamentos na aviação civil, dentre outros.

O Programa EMBRACE está contemplado no Plano Diretor do INPE para o período 2016-2019, onde foram definidas as seguintes ações estratégicas para o Programa EMBRACE:

- 1) Garantir a continuidade da operação do centro de previsão do clima espacial por meio do estabelecimento de um sistema de energia estável e ininterrupto implantado e solução de banco de dados redundantes iniciada.
- 2) Instalar instrumentação de interesse do programa EMBRACE, realizar a coleta dos dados, incluindo dados de missões espaciais, arquivar os dados e disseminar a informação pertinente por meio de criação e manutenção de sítios de coletas de dados implantados e dados sendo transmitidos para a sede do EMBRACE.

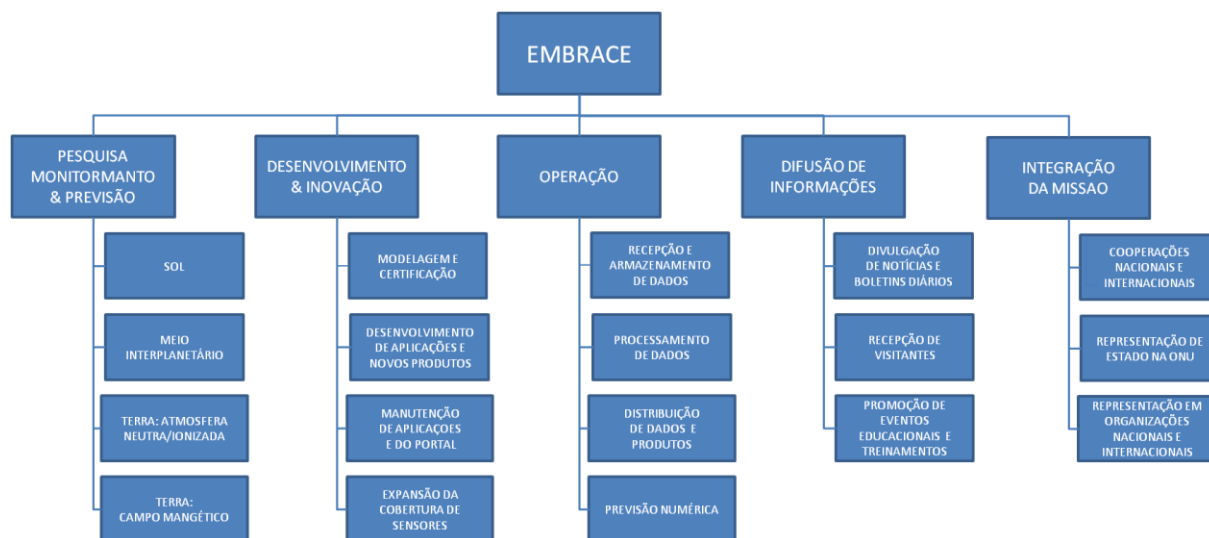
O documento estabelece ainda as seguintes metas para o Programa EMBRACE:

1. Concluir o sistema de segurança da operação do centro EMBRACE;
2. Expandir a rede de sensores do programa EMBRACE em pelo menos 10%;
3. Receber todos os dados em tempo real de instrumentos de solo e embarcados do programa EMBRACE e de seus parceiros;
4. Expandir o monitoramento e emissão de alertas e boletins para 7 (sete) dias da semana, 24 (vinte e quatro) horas por dia;
5. Realizar três eventos de interação com comunidade relacionada com o programa EMBRACE.

### 3.3. Estrutura do Programa EMBRACE

O Programa EMBRACE está estruturado em cinco grandes áreas, compostas por Pesquisa, Monitoramento e Previsão; Desenvolvimento e Inovação (D&I); Operação; Difusão de Informações e Integração da Missão conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura organizacional do Programa EMBRACE.



A área de Pesquisa Monitoramento e Previsão abrange as subáreas referentes ao Sol, Meio Interplanetário, Terra: Atmosfera Neutra e Ionizada e Terra: Campo Magnético. Nesta área é realizada a pesquisa voltada para o desenvolvimento de produtos e modelos de previsão de clima espacial.

Na área de D&I os modelos de previsão numérica são certificados e implementados, também são desenvolvidas aplicações de novos produtos de clima espacial, bem como, são realizados a manutenção de softwares e do portal do Programa EMBRACE. Além disso, são realizados estudos para adequação e expansão da rede de sensores de solo.

A área de Operação é responsável pela recepção e armazenamento dos dados de sensores. O processamento dos dados fornece os resultados das aplicações que são disponibilizados no site do Programa. A Operação também é responsável pela disseminação dos dados e produtos via portal da internet. Além disso, também é responsável pela execução dos modelos de previsão numérica de clima espacial.

A área de Difusão de Informações é responsável pela divulgação de informações sobre clima espacial, além da divulgação dos boletins diários de clima espacial. Esta área também é responsável pela recepção e divulgação do Programa EMBRACE junto aos visitantes do INPE, e a promoção de eventos, workshops e treinamentos relacionados a clima espacial.

Por fim, a área de Integração da Missão é responsável pelas cooperações nacionais e internacionais com instituições de ensino e pesquisa na área de clima espacial.



Também representa o Programa EMBRACE junto a ONU e as organizações e consórcios internacionais.

### 3.4. Redes de Sensores do Programa EMBRACE

O Programa EMBRACE possui um parque de sensores instalados em solo, destinados ao monitoramento das diversas áreas de interesse do Programa. Dentre os instrumentos científicos destacam-se os equipamentos para medir a atividade solar, as variáveis da atmosfera neutra e ionizada, bem como as variações do campo magnético da Terra. A rede de sensores é atualizada a cada ano, de forma a garantir uma maior cobertura espacial sobre o Brasil e o continente Sul Americano. Os principais instrumentos científicos operados pelo Programa EMBRACE são listados abaixo:

- 1) Espectrômetro centimétrico-milimétrico solar (SPECM)
- 2) Rádio espectrômetro – CALLISTO
- 3) Rede de imageadores *all-sky*
- 4) Rede de digissondas
- 5) Rede de magnetômetros
- 6) Rede de receptores cintiladores GNSS
- 7) Rede de receptores GNSS

As redes de imageadores *all-sky*, digissondas e magnetômetros são de responsabilidade do Programa EMBRACE. A maioria destes equipamentos foi adquirida com recursos do Programa, contudo, alguns equipamentos pertencem ao INPE ou outra instituição parceira.

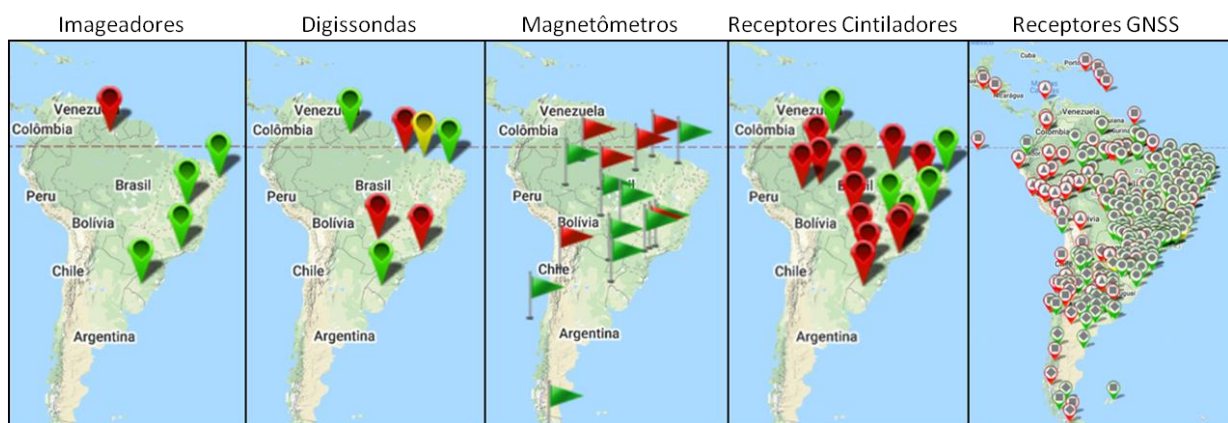
A rede de receptores cintiladores do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) é mantida por um grupo de pesquisadores do INPE e da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Presidente Prudente, além de alguns sensores da rede *Low-latitude Ionosphere Sensor Network* (LISN).

Já as redes de receptores GNSS são operadas e mantidas, na sua grande maioria, por instituições parceiras, tais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que mantém a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC); o Instituto Geográfico Nacional da Argentina que mantém a *Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo* (RAMSAC); a rede de receptores do LISN e a rede do *International GNSS Services* (IGS). Os dados destas redes são de domínio público e o Programa EMBRACE possui autorização das instituições para a sua utilização.

A Figura 2 apresenta mapas com a distribuição das principais redes de instrumentos utilizados pelo Programa EMBRACE. Os pontos marcados em verde representam os instrumentos que estão operando, enquanto que, os pontos em vermelho significam que o instrumento está fora de operação. Também é possível observar que as redes de imageadores *all-sky* e digissondas possuem poucos instrumentos. Isto se deve pelo alto custo destes equipamentos. A rede de sensores de magnetômetros

apresenta uma boa cobertura do continente Sul Americano, com alguns poucos instrumentos fora de operação. Já a rede de sensores receptores cintiladores GNSS apresenta uma baixa cobertura sobre o território Sul Americano, além de uma grande parte dos instrumentos estarem fora de operação. Por outro lado, a rede de sensores receptores GNSS apresenta uma vasta cobertura sobre a América do Sul, fornecendo dados de boa qualidade para produzir os mapas do Conteúdo Eletrônico Total (TEC).

Figura 2 – Distribuição das redes de sensores utilizados pelo Programa EMBRACE.



Além dos equipamentos de solo, o Programa EMBRACE também utiliza dados de satélites para complementar as informações do Sol e do Meio Interplanetário. Um dos principais satélites utilizados para este fim é o *Solar Dynamics Observatory* (SDO) que fornece imagens do Sol em vários comprimentos de onda, no qual é possível monitorar as diversas camadas do Sol e os principais fenômenos solares responsáveis pelos distúrbios em clima espacial que são as erupções solares.

Os dados do satélite *Deep Space Climate Observatory* (DSCOVR) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) são utilizados para o monitoramento do clima espacial no meio interplanetário, e compõem um conjunto de dados importantes para as previsões e pesquisas de fenômenos que têm o potencial de perturbar e danificar a infra-estrutura com base tecnológica na Terra.

O satélite é o instrumento disponível mais distante da Terra, no meio interplanetário (ponto de equilíbrio gravitacional entre o Sol e a Terra), que mede a densidade e velocidade dos ventos solares. De grande importância para os centros de previsores do clima espacial são as medidas do campo magnético destes fluxos de matéria ejetados do Sol em direção à Terra. É a informação direta mais antecipada da chegada dos excessos de radiação corpuscular em direção à Terra.

Outro satélite utilizado para o monitoramento do meio interplanetário é o *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES) operado pela NOAA e controlado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). O GOES-R

*Extreme Ultraviolet e X-Ray Irradiance Sensors* (EXIS) medem a emissão de raios X solares devido às erupções solares.

Recentemente o Programa EMBRACE adquiriu uma antena para a recepção dos dados do *Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate-2* (COSMIC-2). O COSMIC-2 é uma rede de seis satélites de observação de rádio ocultação da constelação de satélites GNSS utilizado para coletar dados atmosféricos utilizados na previsão do tempo, e monitoramento e previsão do clima espacial. A participação do INPE é regulada pelos Memorandos de Entendimentos entre a agência NOAA americana e também a *University Corporation for Atmospheric Research* (UCAR).

A antena foi instalada nas dependências do INPE em Cuiabá (MT) e os dados recebidos são distribuídos para os servidores da NOAA e do EMBRACE, de onde são disponibilizados para a comunidade em geral.

A participação do Brasil nessa missão possibilita a recepção dos dados dos satélites a cada 14 minutos em conjunto com outras sete estações disponibilizadas em outros países. O monitoramento da ionosfera com o uso da rádio ocultação é um experimento para clima espacial que possibilita obter informações, em tempo real, de localidades não acessíveis por instrumentação de solo devido a dificuldades técnicas de acesso tais como oceanos e região amazônica.

### **3.5. Produtos de Monitoramento de Clima Espacial**

Os dados das redes de sensores de solo e de satélites são utilizados para monitorar as condições de clima espacial. A seguir serão apresentados os principais resultados produzidos pelo Programa a fim de monitorar as variáveis do ambiente de clima espacial.

A Figura 3 apresenta um espectrograma de frequência para o dia 02 de julho de 2020, onde é possível observar, a ocorrência de ejeções solares, a emissão eletromagnética de jatos de elétrons e ondas de choques das partículas ejetadas do Sol. A partir do espectro observado é possível determinar as velocidades de propagação da ejeção das partículas e do choque produzido. O equipamento está instalado no Centro Espacial de Cachoeira Paulista (SP).

O monitoramento do meio interplanetário é realizado pelo satélite DSCOVR e GOES da NOAA, onde é possível monitorar as variáveis do meio interplanetário com o campo magnético, a densidade, temperatura e velocidade do plasma. A Figura 4 apresenta o comportamento do campo magnético e a densidade de plasma do meio interplanetário, enquanto que a Figura 5 apresenta a variação do fluxo de Raios-X, obtidos pelo satélite GOES-16. O aumento do fluxo de Raios-X pode causar alterações na ionosfera e são usadas pelo Programa EMBRACE para gerar avisos de apagões (*blackout*) nas comunicações terrestres de rádio que utilizam alta frequência (HF).

Figura 3 – Espectrograma de frequência obtido pelo equipamento CALLISTO.

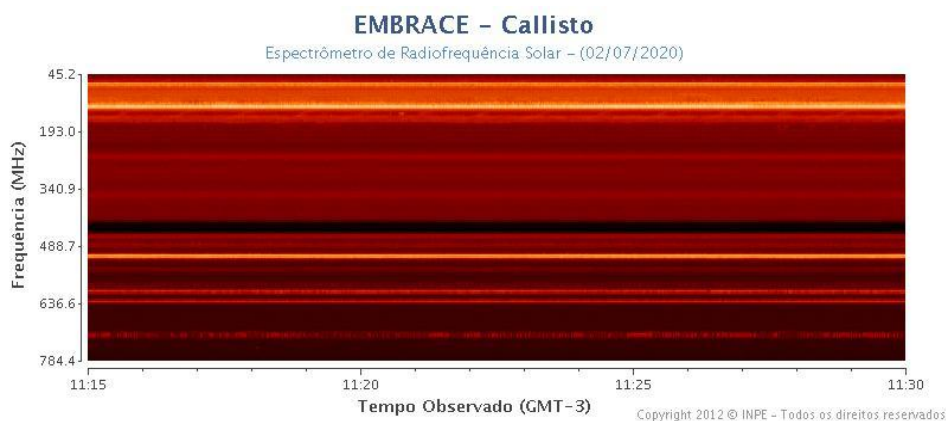


Figura 4 – Monitoramento do campo magnético e da densidade, temperatura e velocidade de plasma do meio interplanetário, utilizando dados do satélite DSCOVR da NOAA.

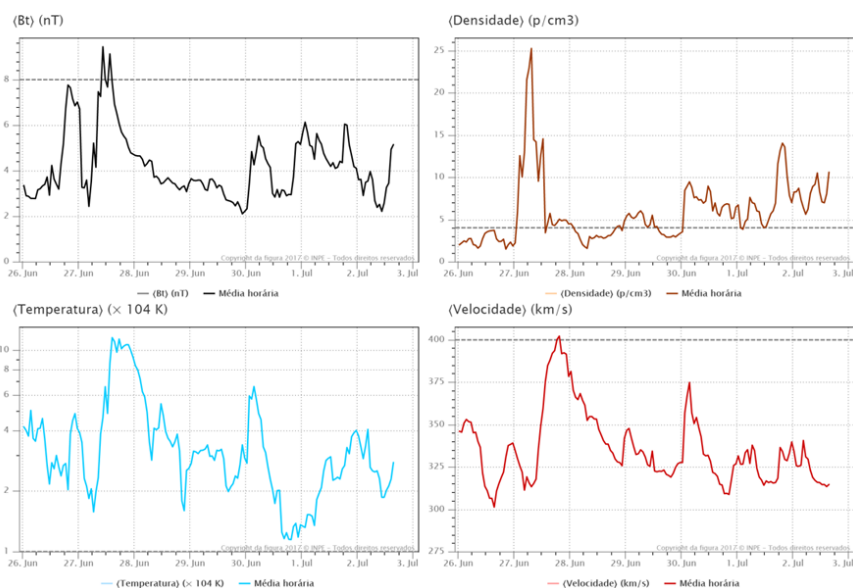
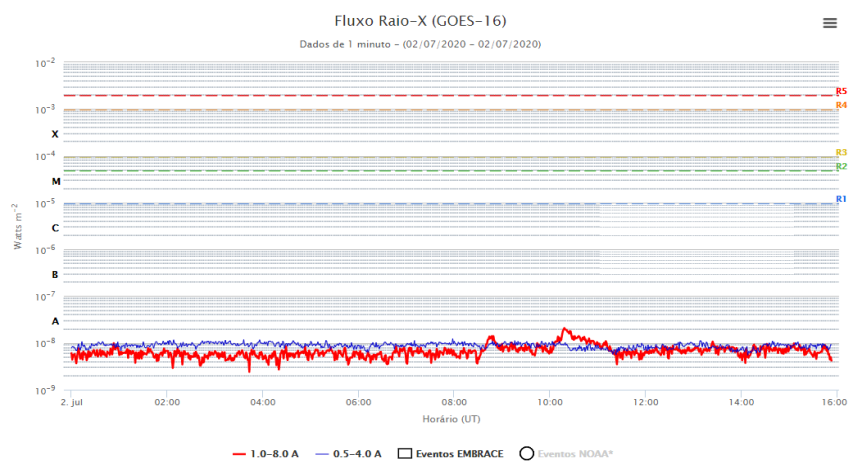
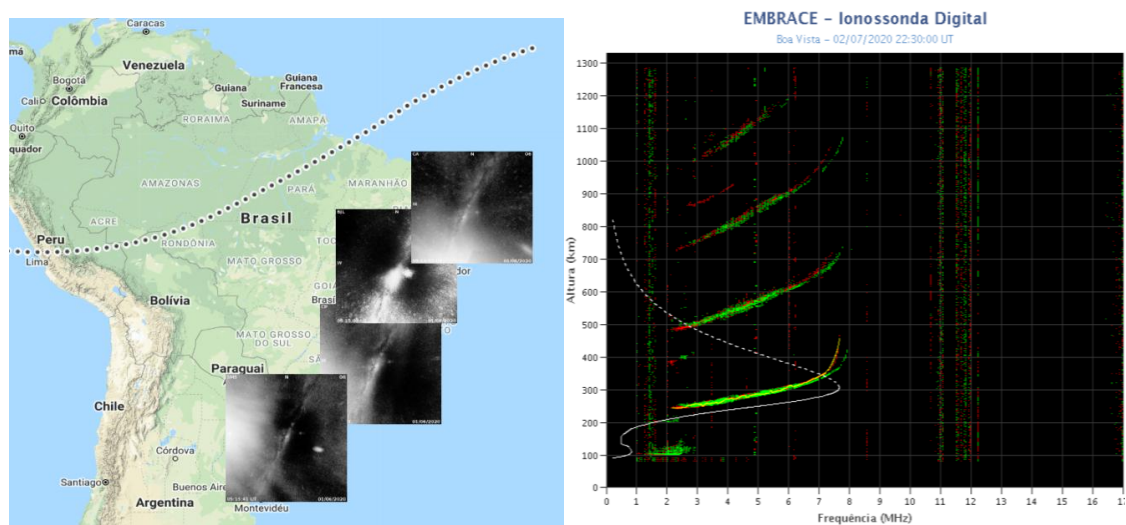


Figura 5 – Monitoramento do fluxo de Raios-X, obtidos pelo satélite GOES-16.



O monitoramento da ionosfera terrestre é realizado utilizando uma série de sensores, cada qual destinado a medir uma variável específica da atmosfera terrestre. A Figura 6 e Figura 7 apresentam o monitoramento da ionosfera pela rede de imageadores *all-sky*, digissondas, receptores cintiladores GNSS e receptores GNSS. Na Figura 6, painel esquerdo, é apresentado um mapa com a cobertura da rede de imageadores *all-sky* utilizados para monitorar a cobertura espacial de bolhas de plasma durante o período noturno. Já o gráfico, no painel direito, apresenta um ionograma com o perfil de densidade eletrônica da ionosfera na localidade de Boa Vista (RR).

Figura 6 – Monitoramento da ionosfera terrestre pela rede de imageadores *all-sky* e digissondas.



A Figura 7, painel esquerdo, apresenta um mapa de com o índice de cintilação que ocorre nos sinais de GNSS na ionosfera. A cintilação ionosférica é uma variação rápida de amplitude e fase dos sinais de ondas de rádio e ocorrem quando estes sinais atravessam as irregularidades da ionosfera. O mapeamento da cintilação ionosférica é feito através de valores do índice S4. Na Figura 7, o painel à direita, apresenta um mapa do Conteúdo Eletrônico Total (TEC) obtido por meio da rede de sensores GNSS. Os mapas de TEC mostram o comportamento do conteúdo eletrônico da ionosfera a cada 10 minutos, onde é possível monitorar uma série de fenômenos que podem afetar a propagação de ondas transionosféricas, tais como as bolhas de plasma e a anomalia de ionização equatorial.

As variações do campo magnético da Terra também são monitoradas, utilizando uma rede de magnetômetros. A Figura 8 apresenta as variações da componente H do campo magnético da Terra em todas as estações de monitoramento.

Figura 7 - Mapas de cintilação e do conteúdo eletrônico total (TEC) da ionosfera utilizando a rede de receptores cintiladores GNSS e a rede de sensores GNSS.

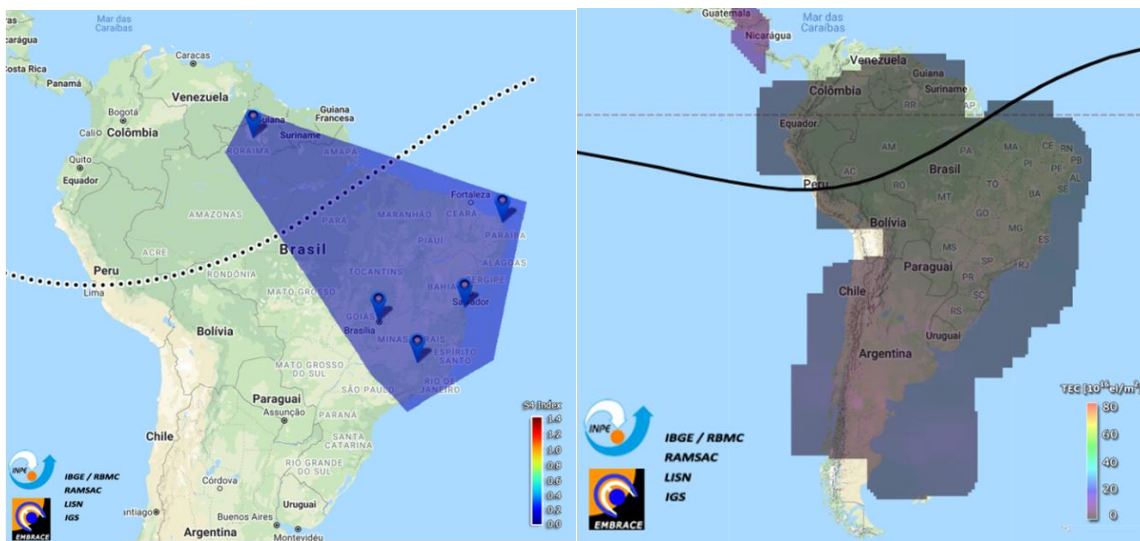
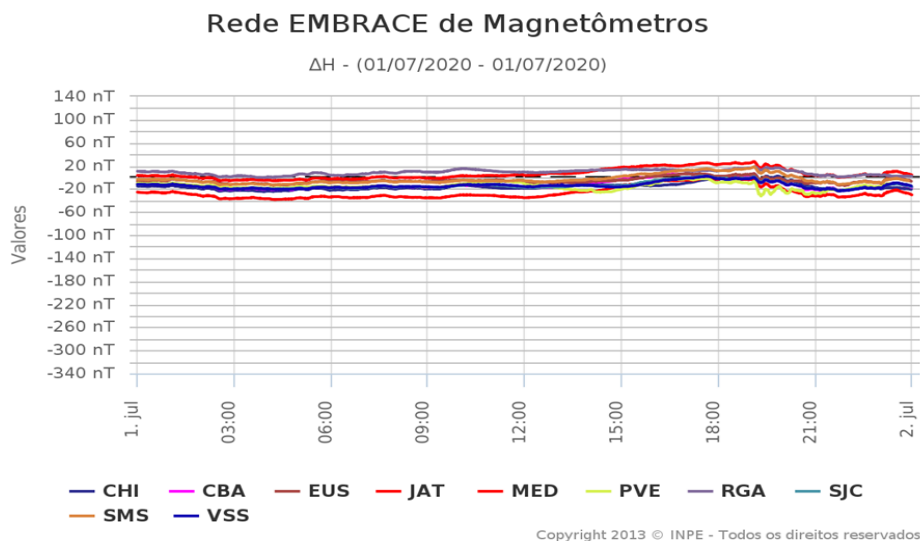


Figura 8 – Variação da componente horizontal do campo magnético terrestre.



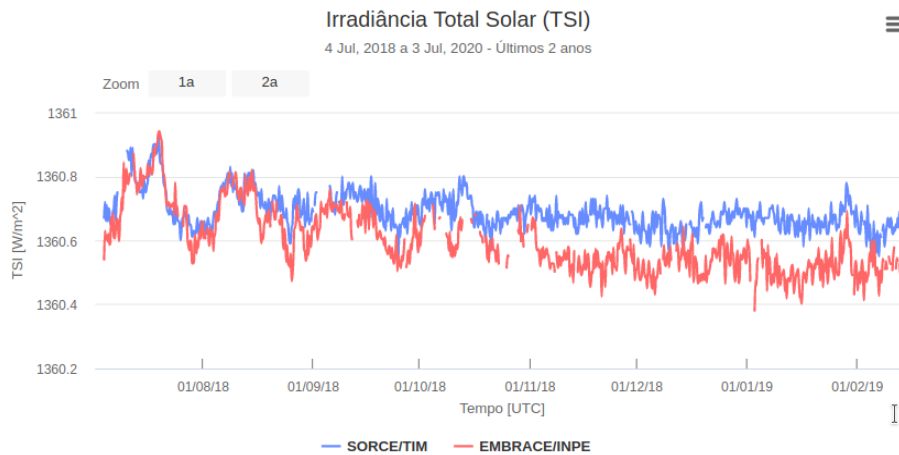
### 3.6. Produtos de Previsão de Clima Espacial

Os resultados obtidos dos dados das redes de sensores de solo e de satélites são utilizados para gerar os produtos para o monitoramento e a previsão as condições de clima espacial. A seguir serão apresentados alguns dos produtos utilizados na previsão de clima espacial, no que diz respeito ao Sol, Meio Interplanetário, Terra: Atmosfera Ionizada e Terra: Campo Magnético.

As imagens do Sol, obtidos do satélite SDO, são utilizados no modelo de previsão da Irradiância Total Solar (que é a quantidade de radiação eletromagnética produzida pelo Sol). A irradiância medida em vários comprimentos de ondas e o

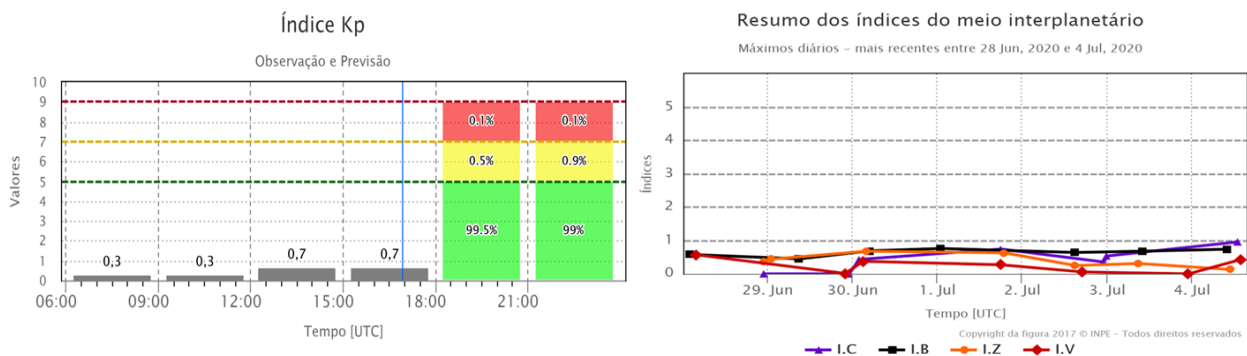
mapeamento das manchas solares é utilizada para projetar a variação da Irradiância Total da semana seguinte.

Figura 9 – Previsão da Irradiância Total Solar (TSI).



O monitoramento dos parâmetros físicos do plasma solar no ponto Lagrangiano L1 é a melhor ferramenta experimental para se entender e estimar os possíveis efeitos que mudanças no clima espacial poderão causar em sistemas tecnológicos, seres vivos e em fenômenos terrestres naturais. A fim de sumarizar e padronizar a descrição das variações temporais desses parâmetros, foram criados quatro índices que descrevem as condições do clima espacial do meio interplanetário no espaço próximo à Terra com base na velocidade e configuração magnética do vento solar, além de sua atuação sobre a magnetopausa. A Figura 10 apresenta a previsão do índice Kp, bem como dos parâmetros do Meio Interplanetário.

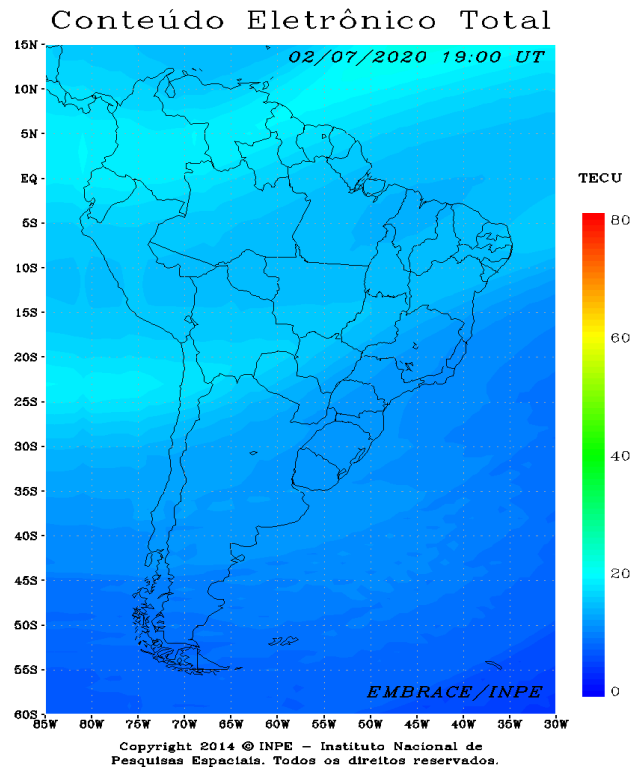
Figura 10 – Previsão do Índice Kp e dos parâmetros do Meio Interplanetário.



Uma das formas de modelar a Ionosfera terrestre é utilizando o *Sheffield University Plasmasphere-Ionosphere Model* (SUPIM-INPE). O SUPIM-INPE foi modificado para

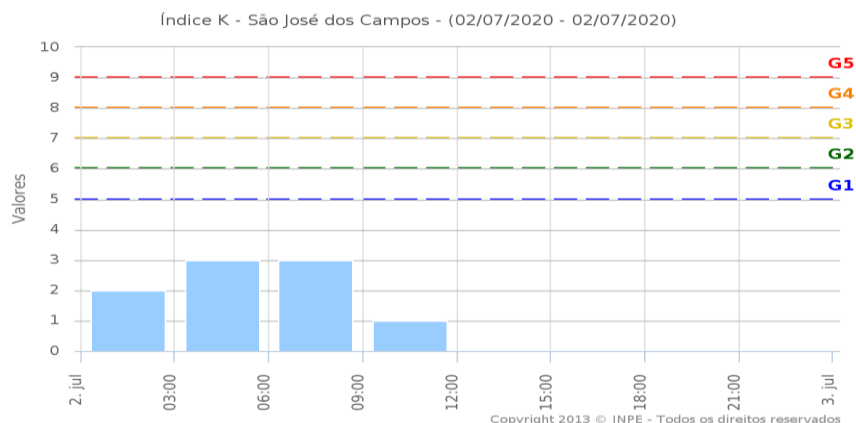
prever o Conteúdo Eletrônico Total (TEC) e o seu comportamento sobre a América do Sul. A Figura 11 apresenta um mapa com a previsão do TEC.

Figura 11 – Previsão do TEC sobre a América do Sul utilizando o modelo SUPIM-INPE.



A Figura 12 apresenta o Índice K que mostra o comportamento do campo magnético da Terra na localidade de São José dos Campos (SP). O índice é utilizado para monitorar os distúrbios causados no campo magnético terrestre devido a atividade solar.




Figura 12 – Previsão do Índice K sobre São José dos Campos (SP), utilizando dados da rede de magnetômetros.





Todos os produtos de monitoramento e de previsão de clima espacial são utilizados para a publicação diária de Boletins de Clima Espacial, que descrevem o comportamento do Sol, os parâmetros do Meio Interplanetário, Terra: Atmosfera Ionizada e Terra: Campo Magnético. O Painel 1 apresenta um exemplo do formato e conteúdo do Boletim de Clima Espacial produzido pelo Programa EMBRACE.

Painel 1 – Boletim de Clima Espacial publicado em 02 de julho de 2020 com a descrição do monitoramento do Sol, Meio Interplanetário, Terra: Atmosfera Ionizada e Terra: Campo Magnético.

 Sol
<p>O Sol não apresenta regiões ativas na superfície visível hoje. As chances de uma explosão de classe M ou X são baixas no decorrer do dia. De acordo com observações dos coronógrafos, não existe CME em direção à Terra. A velocidade do vento solar deve manter-se baixa hoje. Este quadro pode se alterar com o surgimento de nova(s) ou desaparecimento de região(ões) ativa(s) ou aumento/diminuição de atividade de região(ões) ativa(s) presente(s) no disco solar.</p>
Postado em: 02/07/2020
 Meio Interplanetário
<p>Nas últimas 24 horas, a região do meio interplanetário próxima à Terra não apresentou alteração significativa nas perturbações do plasma. A magnitude do campo magnético interplanetário permanece com sua intensidade oscilando em torno dos valores típicos como mostrado pelo índice (I.B0). A componente do campo magnético interplanetário teve um período cujo o valor permaneceu negativo, contudo com um baixo nível das flutuações. A velocidade do vento solar, permanece baixa como mostrado pelo índice (I.V0). A densidade do vento solar oscila em torno dos valores típicos. Espera-se que o lado diurno da magnetosfera terrestre oscila em torno da posição típica como ilustrada pelo índice (I.C0). Esse boletim se refere ao período entre 2020/06/01 08 UTC a 2020/06/02 08 UTC. Nas próximas 24 horas, espera-se um nível baixo do conteúdo energético transportado pelo vento solar.</p>
Postado em: 02/07/2020
 Terra / Atmosferas
<p>A ionosfera se manteve sem grandes alterações nas últimas 24 horas. A altura do pico de densidade eletrônica da camada ionosférica em Boa Vista ficou entre 220 e 370 km e a frequência crítica do plasma ionosférico apresentou valores entre 2 e 8 MHz desde ontem. A máxima frequência utilizável, MUF (3000 km), apresentou um valor mínimo em torno de 5 MHz às 5h00 na região equatorial. O conteúdo eletrônico total (TEC) ontem sobre São Paulo apresentou o valor máximo de 9 TECu às 15h30. Os horários utilizados neste boletim são referentes à hora oficial de Brasília (BRT = UT - 3).</p>
Postado em: 02/07/2020
 Terra / Campo Magnético
<p>Campo geomagnético apresentou instabilidades no último período de observação. O índice AE esteve abaixo de 500 nT, o índice Dst mínimo foi de - 31 nT. O índice Kp máximo do período foi de 1-.</p>
Postado em: 02/07/2020

### 3.7. Parcerias Estabelecidas

Os efeitos do clima espacial são tanto de escala global como regional, afetando várias áreas tecnológicas, em particular as de navegação por satélites e telecomunicações. O que leva naturalmente a busca de parcerias tanto nacionais como internacionais para otimizar o uso dos recursos e ampliar a capacidade de monitoramento.

Atualmente o INPE possui as seguintes parcerias internacionais relacionados ao clima espacial com cooperações vigentes:

- *Universidad Nacional de Tucumán* (Argentina): referente a instalação e operação de magnetômetros para medidas da variação do magnético.
- *Universidad Nacional de La Plata* (Argentina): referente ao desenvolvimento de pesquisas sobre interesses científicos comuns relacionados ao Clima Espacial.
- *Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidad Nacional de Tucumán* (Argentina): referente a Cooperação Acadêmica, Científica e Tecnológica, em particular sobre clima espacial.
- *Universidad de Concepción* (Chile): referente a instalação e operação de magnetômetro para medidas da variação do magnético.
- *National Space Science Center* (China): referente a estabelecer entendimento mútuo entre as Partes e acordar sobre os princípios gerais relacionados ao acompanhamento das atividades da cooperação do *Laboratório Conjunto, bem como do Programa Internacional do Círculo Meridiano*.
- *Centro de Ciência Espacial Nacional (NSSC)/ Instituto de Sensoriamento Remoto e Terra Digital (RADI)* (China): referente ao estabelecimento conjunto do CBODS - Sistema de Recepção de Dados dos Satélites China-Brasil de Ciência Espacial em um local proposto pelo INPE e localizado em Cachoeira Paulista para receber dados de satélites chineses de ciência espacial e de outras missões espaciais de interesse mútuo.
- *Administração Espacial Nacional da China* (China), com a Agência Espacial Brasileira, tendo o INPE como uma das Instituições a estabelecer um plano de cooperação espacial entre a AEB e a CNSA para o período de 2013 a 2022, em particular o *laboratório conjunto para Clima Espacial Brasil-China*.
- *Centro de Ciência Espacial e Pesquisa Aplicada* (China): referente ao apoio à Infraestrutura de Pesquisa para o Programa Internacional do Círculo Meridional (IMCP) e Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE), além de pesquisa conjunta em Ciência Espacial.
- *Centro de Ciência Espacial e Pesquisa Aplicada (CSSAR)* referente ao Programa de Clima Espacial Internacional do Círculo Meridiano (ISWMCP), áreas científicas de interesse comum, apoio às infraestruturas de pesquisas.
- *Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate Product Generation and Distribution* (EUA): referente ao acordo de Segurança de Conexão que dá sequência à implementação do Anexo 2 do Memorando de Entendimento entre o INPE e a NOAA para a cooperação no programa de satélites *COSMIC-2*.
- *National Aeronautics and Space Administration* (EUA): com a Agência Espacial Brasileira, tendo o INPE e ITA como Instituições implementadoras, referente a Pesquisa em Observações de Previsão de Cintilação.

- *California Institute of Technology (CALTECH) (EUA):* referente a licença do software GIPSY OASIS II (GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software).
- *Corporação Universitária para Pesquisa Atmosférica (NCAR) (EUA):* referente ao acordo de licença para uso do software CDAAC - Centro de Análise de Dados e Arquivo do programa COSMIC-2.
- *Corporação Universitária para Pesquisa Atmosférica (NCAR) (EUA):* referente a colaboração em Sistema Receptor de Navegação Global via Satélite.
- *Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA) (EUA):* referente a cooperação em Heliofísica e Pesquisa sobre Clima Espacial.
- *Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NASA) (EUA):* referente a cooperação no programa COSMIC-2.
- *Organização Indiana de Pesquisa Espacial (Índia), com a Agência Espacial Brasileira,* referente a Cooperação na área de exploração e utilização do espaço exterior - Estudo do sistema ionosfera-termosfera equatorial através de medidas por radares e digissondas operacionais no Brasil e Índia.
- *Universidade de Estudos de Padova (Itália)* referente a cooperação em pesquisa dos efeitos da radiação espacial.
- *Agência Espacial Europeia (ESA) com a Agência Espacial Brasileira,* referente a Instalação e operação na Divisão de Geração de Imagens da Coordenação de Observação da Terra do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/OBT/INPE), em Cachoeira Paulista, de estação GNSS a ser integrada à rede mundial GNSS do Escritório de Navegação Espacial do Centro de Operações Espaciais (ESOC) da Agência Espacial Europeia (ESA).

O INPE também possui parcerias nacionais relacionados ao clima espacial, especialmente para intercâmbio de informações técnico-científicas e instalação e operação de instrumentos, com as seguintes instituições:

- CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL (CTA).
- CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS (ULBRA).
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).
- FUNDAÇÃO VALEPARAIBANA DE ENSINO (UNIVAP).
- UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO (UEMA).
- UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (UFPB).
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA (URFF).
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM).
- UNIVERSIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO E DA REGIÃO DO PANTANAL (UNIDERP).

### 3.8. Iniciativas de Colaborações em Andamento

O Programa EMBRACE vem estabelecendo algumas parcerias nacionais e internacionais, relacionados ao clima espacial, especialmente para a instalação e operação de instrumentos científicos, intercâmbio em pesquisas científicas, intercâmbio de informações técnico-científicas, e o desenvolvimento de pesquisa inovativa com as seguintes instituições:

- 1) Acordo de Parceria com a *Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR)*: o acordo visa promover um esforço de cooperação conjunta para a instalação de equipamentos científicos em Porto Velho (RR), destinados a coletar dados úteis para o monitoramento e a previsão das condições do tempo no ambiente solar-terrestre, atividade coordenada pelo Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE) do INPE.
- 2) Acordo de Parceria com o *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF BAIANO)*: o acordo visa promover um esforço de cooperação conjunta para a instalação de equipamentos científicos em Bom Jesus da Lapa (BA), capazes de coletar dados úteis para o monitoramento e a previsão das condições do tempo no ambiente solar-terrestre, atividade coordenada pelo Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE) do INPE.
- 3) Acordo de Parceria com a *Universidade Federal de Jataí (UFJ)*: o acordo visa promover um esforço de cooperação conjunta para a instalação de equipamentos científicos em Jataí (GO), destinados a coletar dados úteis para o monitoramento e a previsão das condições do tempo no ambiente solar-terrestre, atividade coordenada pelo Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE) do INPE.
- 4) Acordo de Parceria com a *Universidade Federal do Tocantins (UFT)*: o acordo visa promover um esforço de cooperação conjunta para a instalação de equipamentos científicos em Palmas (TO), destinados a coletar dados úteis para o monitoramento e a previsão das condições do tempo no ambiente solar-terrestre, atividade coordenada pelo Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE) do INPE.
- 5) Acordo de Parceria com a *Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)*: o acordo visa promover um esforço de cooperação conjunta para a instalação de equipamentos científicos em Medianeira (PR), destinados a coletar dados úteis para o monitoramento e a previsão das condições do tempo no ambiente solar-terrestre, atividade coordenada pelo Programa de Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE) do INPE.
- 6) Cooperação com o *Centro Nacional de Ciências Espaciais Chinês (NSSC) - Laboratório Conjunto Brasil-China*: este acordo visa promover um esforço de cooperação conjunta para promover pesquisa e cooperação entre o INPE e o NSSC na área de Clima Espacial, facilitado pelo Laboratório Conjunto China-Brasil para o Clima Espacial para operar nas instalações do edifício do programa EMBRACE na sede do INPE em São José dos Campos (SP).

- 7) *Cooperação com o Comando da Aeronáutica*: o objeto deste acordo de cooperação científica, realizado por intermédio da parceria institucional junto ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), para a prestação de informação e assessoramento sobre fenômenos meteorológicos espaciais com a vigilância e confecção de mensagens e avisos relacionados ao Clima Espacial, através do desenvolvimento, em conjunto, de subsídios de ordem técnica e operacional para o aprimoramento do Serviço de Meteorologia Espacial Aeronáutica. Desta forma, o objetivo é a prestação de informação e assessoramento sobre fenômenos meteorológicos espaciais aeronáuticos, os quais afetem as comunicações de rádio de alta frequência, as comunicações por satélite e os sistemas de navegação e de vigilância baseados em GNSS, bem como representem um risco de radiação para os ocupantes de aeronaves.
- 8) *Acordo de Parceria com a CT&I DECISÕES E AÇÕES INTELIGENTES LTDA*: o acordo de parceria visa promover um esforço conjunto em Pesquisa e Desenvolvimento dos impactos e vulnerabilidades do Clima Espacial para a operação de satélites no Brasil, de acordo com os resultados dos projetos de pesquisa inovativa financiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processos nº 2017/00553-0 e nº 2018/13567-2. O acordo de parceria tem como objetivo promover a melhoria do processo decisório de diversas organizações brasileiras (públicas e privadas) relacionados aos riscos do clima espacial. Este, por sua vez, levará também a uma melhoria dos produtos e serviços do EMBRACE/INPE associadas com fenômenos espaciais capazes de perturbar as atividades econômicas da sociedade brasileira.

### **3.9. Perspectivas Futuras para o Programa**

Com a nova reestruturação do INPE, o Programa de Clima Espacial deverá se tornar uma Divisão, firmando-se dessa forma não mais como esforço temporário para alcançar um determinado objetivo, mas uma Divisão madura e suficientemente desenvolvida para compor a estrutura administrativa da Instituição.

Além disso, o Programa EMBRACE vem trabalhando em novas iniciativas para o desenvolvimento de produtos e serviços à sociedade. Frequentemente surgem demandas específicas da sociedade em relação aos serviços prestados pelo EMBRACE, tais como a solicitação de parceria com CT&I Decisões e Ações Inteligentes LTDA e a cooperação com o Departamento de Controle e do Espaço Aéreo, dentre outros. Essas demandas contribuem para o aprimoramento e eficiência dos serviços prestados pelo EMBRACE à sociedade.

O Programa EMBRACE foi nomeado pelo representante brasileiro na Organização Meteorológica Mundial (WMO em inglês) como o interlocutor oficial do Brasil nas questões de Clima Espacial. Atualmente, a WMO trabalha em novas regras internacionais de regulação de procedimentos de decolagem e aterrissagem de voos da Aviação Civil. Além disso, o Brasil, por meio do Programa EMBRACE, é um dos

cinco países do mundo que fornecem mapas continentais do conteúdo total da atmosfera ionizada, a cada 10 minutos, para divulgação no site da WMO, de forma a alimentar os modelos globais de previsão de clima espacial.

Desta forma, como perspectivas futuras o Programa EMBRACE vislumbra a prestação de serviços no formato 24x7, com operação 24 horas nos sete dias da semana. Este serviço será executado em parceria com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), que ficará responsável por emitir boletins diários a respeito da segurança de voo, principalmente durante a decolagem e aterrissagem de aeronaves no País. Outra perspectiva futura do Programa é o uso de ferramentas computacionais para a tomada de decisão na operação de satélites no Brasil. Esta ferramenta também será utilizada de forma operacional na emissão de alertas gerados pelo Programa EMBRACE, e será desenvolvido em conjunto com a empresa CT&I DECISÕES E AÇÕES INTELIGENTES LTDA.

Por fim, os produtos desenvolvidos pelo Programa EMBRACE têm o potencial de promover o bem para a sociedade brasileira, provendo informações sobre os fenômenos espaciais capazes de perturbar a atividade econômica desta sociedade. Assim, resulta num conjunto de ações inovadoras, de grande impacto científico e tecnológico que auxilia a tomada de decisões de governo, das agências reguladoras e das empresas brasileiras.

### **3.10. Desdobramentos Importantes do Serviço de Clima Espacial para o EMBRACE**

As realizações do Programa EMBRACE são frutos de uma intensa cooperação com a comunidade industrial, comunidade de defesa e comunidade civil brasileira, as quais ocorrem principalmente quando o Programa realiza seus workshops bianuais com os usuários brasileiros. Nestes encontros são divulgados os novos produtos do Programa, bem como o seu portal e principalmente é realizada a troca de informações com as agências governamentais, companhias de aviação, bem como seus fabricantes, o IBGE e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), companhias energéticas, indústria de equipamentos de defesa, entre outros.

Diariamente, a maioria dos parâmetros sobre o Clima Espacial (incluindo um boletim) é publicada no portal web do Programa EMBRACE, os quais são exclusivos por serem obtidos em território brasileiro em condições únicas no globo terrestre. A América do Sul encontra-se hoje na Anomalia Magnética da América do Sul, cuja região há uma maior incidência de partículas energéticas vindas do Sol, quando comparada com outras regiões do planeta. Portanto, resulta em uma maior interferência nos sistemas e equipamentos embarcados, a saber, sensores de estrelas usados no controle de atitude dos satélites quando eles passam nesta região.

Hoje em dia, os usuários contam com produtos derivados de redes de mais de 180 monitores de GNSS, que abrange a maior parte do território sul-americano, uma

rede de digissondas que monitora o blecaute de radiocomunicação em sete locais do Brasil; vários radiotelescópios para monitorar a atividade solar, uma rede de magnetômetros e de imageadores *all-sky*, além de um modelo físico de previsão da ionosfera global, e modelos para previsão da irradiância total do sol, dentre outros.

### 3.11. Levantamento de Necessidades Futuras

Um levantamento realizado pelos pesquisadores que colaboram com o Programa EMBRACE foi elencado algumas necessidades futuras para o Programa EMBRACE, as quais se destacam o desenvolvimento de novos produtos de clima espacial para atender as demandas: da aviação civil, do posicionamento preciso de plataformas de petróleo, da agricultura de precisão, do monitoramento de correntes elétricas induzidas em redes de alta tensão, entre outros.

Além disso, também foi elencada como prioridade futura a expansão das seguintes redes de sensores: receptores cintiladores GNSS, receptores GNSS, magnetômetros, imageadores *all-sky*, sensores GIC, digissondas, sensores para o monitoramento do sol, dentre outros que se fizerem necessários. Na Tabela 1, encontra-se a lista dos instrumentos previstos na expansão da rede de sensores do Programa, a ser executada num período de 10 anos. A estimativa de custo para esta expansão é de 3 milhões de Dólares.

Tabela 1 – Equipamentos a serem adquiridos para a expansão da rede de sensores do Programa.

<b>Item</b>	<b>Descrição do Equipamento</b>	<b>Unidades</b>
1	Digissonda	2
2	Imageador all-sky	2
3	Magnetômetro de solo	10
4	Magnetômetro embarcado	1
5	Receptor cintilador GNSS	60
6	Sensor de corrente elétrica induzida (GIC)	10
7	Sensor de monitoramento solar	5

### 3.12. Missões em Desenvolvimento e Planejamento

Algumas missões importantes com experimentos a bordo de satélites na área do clima espacial estão sendo planejadas ou em desenvolvimento no programa EMBRACE:

- SPORT - Tarefa de Pesquisa de Observações de Predição de Cintilação é uma missão de observação de bolhas de plasma sobre o Brasil com a colaboração da Agência Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). A ser lançado no início de 2022.
- EQUARS - Satélite de Pesquisa da Atmosfera Equatorial - Missão de observação da ionosfera brasileira em desenvolvimento, projeto em andamento sem data de lançamento.
- Telescópio Solar - Telescópio Espacial Galileo - Uma missão de satélite para observar o Sol com instrumentos para medir a polarização (campos magnéticos) e a radiação UV. Em planejamento.
- RADIATION BELTS EXPLORER (RBE). Precipitação de partículas energéticas sobre a região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Estudo de caso para uma missão cujo objetivo é prover medidas precisas do espectro de energia e distribuição do ângulo de arremesso das populações de elétrons e prótons aprisionados nos cinturões de radiação da Terra, assim como prover as medidas de precipitação de partículas energéticas (EPP) na atmosfera. As medidas de campo elétrico e magnético são essenciais para a detecção de ondas magnetosféricas in situ (cinturões de radiação). Estas são primordiais para o entendimento dos mecanismos de interação onda-partícula, os quais são capazes de causar variabilidade no fluxo de elétrons e prótons aprisionados nos cinturões de radiação da Terra. A região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (SAMA) apresenta peculiaridades quanto a influência dos elétrons e prótons aprisionados, especificamente no cinturão interno de radiação. Os elétrons podem precipitar nesta região de baixa latitude, e contribuir para os processos de ionização da atmosfera, que muitas vezes pode se comportar como uma ionosfera tipicamente auroral, apresentando assinaturas de camadas de precipitação, conhecidas como Esporádicas do tipo auroral (Esa).



### 3.13. Equipe de Pesquisadores do Programa EMBRACE

Os pesquisadores que compõem a equipe do Programa EMBRACE serão descritos em função das suas especialidades dentro das subáreas de pesquisa do Programa.

A pesquisa nas subáreas Sol e o Meio Interplanetário, é realizada pelos seguintes pesquisadores:

- Dr. Alisson Dal Lago
- Dr. Joaquim Eduardo Rezende Costa
- Dr. José Roberto Cecatto
- Dr. Luis Eduardo Vieira
- Dra. Maria Virginia Alves
- Dr. Marlos Rockenbach da Silva

Na subárea Terra: Atmosfera Ionizada a pesquisa é realizada pelos pesquisadores que também são os responsáveis pelas redes de sensores de digissondas e receptores cintiladores GNSS:

- Dr. Clezio Marcos De Nardin
- Dr. Eurico Rodrigues de Paula
- Dr. Fabio Becker Guedes
- Dr. Hisao Takahashi
- Dra. Inez Staciarini Batista
- Dr. Jonas Rodrigues de Souza

Já a pesquisa relacionada à subárea Terra: Atmosfera Neutra é conduzida pelos seguintes pesquisadores, os quais são responsáveis pela rede de imageadores *all-sky* e dos dados de Rádio Ocultação, oriundos da antena de rastreamento de Cuiabá:

- Dr. Alexandre Álvares Pimenta
- Dr. Cristiano Max Wrasse
- Dr. Delano Gobbi

Os pesquisadores relacionados com a subárea Terra: Campo Magnético são responsáveis pelas redes de magnetômetros, sensores GIC e sensores GNSS de alta precisão:

- Dra. Andréa Cristina Lima dos Santos-Matos
- Dr. Antônio Lopes Padilha
- Dra. Livia Ribeiro Alves
- Dr. Marcelo Banik de Pádua

#### 4. AVALIAÇÃO DA MATURIDADE DOS SERVIÇOS PRESTADOS PELO PROGRAMA EMBRACE

O Programa EMBRACE foi nomeado como o Centro de Alerta Regional do Brasil para Previsão do Clima Espacial, único na América do Sul e primeiro na Latina, membro da *International Space Environment Services (ISES)*, organização na qual seus representantes discutem e propõem mecanismos de alerta e de procedimentos de defesa para os sistemas tecnológicos da era espacial. Dentre eles podem-se destacar os sistemas de telecomunicação por satélite, sistemas de georreferenciamento baseados no GNSS, usados em agricultura de precisão, sistemas de segurança de voo, sistemas energéticos de grande dimensão, sistemas de proteção e de controle de atitude de satélites, entre outros.

Dentre as organizações de especialistas está o ISES, que congrega diferentes instituições (países membros, em 2008 o Brasil foi o 13º membro qualificado como Centro Regional de Alerta, dentre os atuais 24 membros) ao redor do planeta para a prestação de serviços de clima espacial. Todos os membros do ISES tiveram a oportunidade de discutir os fenômenos do clima espacial e suas implicações. Também relacionado a essas atividades da ONU foi a realização do evento UNISPACE + 50, em comemoração aos cinquenta anos de fundação, do Comitê das Nações Unidas sobre o uso pacífico do espaço exterior (COPUOS).

Em Julho de 2014, o gerente geral do Programa EMBRACE Dr. Clezio Marcos de Nardin, foi eleito o vice-presidente da organização internacional dos centros previsores ISES com mandato até junho de 2019.

O Programa EMBRACE é um programa reconhecido como Centro Regional de Alerta (RWC em Inglês) no ISES e já presta serviços à WMO. O programa participa no *Expert Group on Space Weather* da ONU criado em 2014 e também já participou como convidado em painéis internacionais sobre cooperações e infraestruturas observacionais em 2015 e 2017. Nestes painéis a ONU possibilita compartilhar a experiência de alguns países mais experientes na formulação mais adequada para a participação global dos serviços de clima espacial.

Em 2015 a ONU organizou em parceria com o governo japonês o workshop [UN/Japan Workshop on Space Weather 2015](#), em Fukuoka. Nessa ocasião o Programa EMBRACE foi convidado a constituir parte do painel de discussões sobre cooperação internacionais devido ao seu protagonismo nas cooperações regionais e internacionais.

Em 2018 o Programa EMBRACE foi convidado a apresentar, para a comunidade das autoridades reguladoras da aviação civil da América Latina, como o clima espacial afeta a aviação, em um encontro da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) no Panamá. Como consequência desse encontro o Diretor Regional da OACI da América do Sul convidou o INPE a ser um centro de treinamento prático em Meteorologia Espacial (nome adotado para Clima Espacial em espanhol, vide ANEXO V) e o INPE aceitou o convite (ANEXO VI).

Em 2018 a ONU, em comemoração ao quinquagésimo aniversário do comitê [COPUOS](#) elegeu sete prioridades temáticas onde a quarta prioridade versa sobre a estrutura internacional para os serviços em clima espacial. Nas discussões preparatórias desta reunião (em 2017) o Brasil, representado pelo Programa EMBRACE, foi mais uma vez convidado a participar como painelistas no evento [United Nations/United States of America Workshop on the International Space Weather Initiative: The Decade after the International Heliophysical Year 2007](#) (Boston College, Chestnut Hill, Massachusetts, United States of America, 31 July - 4 August, 2017) no painel *Observing Infrastructure*.

Em maio de 2018, o gerente geral do Programa EMBRACE, Dr. Joaquim Eduardo Resende Costa foi designado pelo representante brasileiro da WMO para ser o representante brasileiro *no Inter-Programme Team on Space Weather Information, Systems and Services (IPT-SWeISS)*, mais detalhes no ANEXO VII.

Em dois recentes e importantes eventos para discussões do clima espacial o Programa EMBRACE recebeu, como líder dos serviços de clima espacial na América Latina, o convite para apresentar um estudo do estado atual dos serviços prestados. Na reunião anual do [SPACE WEATHER WORKSHOP EM BOULDER](#), Colorado, (USA) em 2019 e na comemoração dos 100 anos da [SOCIEDADE METEOROLÓGICA AMERICANA \(AMS\)](#), Boston (USA), em janeiro de 2020. Em ambas as conferências o Programa EMBRACE apresentou a sua liderança no fomento dos serviços de clima espacial para outros parceiros da América Latina, dentre eles, Argentina, Chile e México.

#### **4.1. A Importância da Participação do Serviço de Clima Espacial nas Cooperações Internacionais**

Para o serviço da Aviação Civil em Clima Espacial, regulamentado pela ICAO, apenas três organizações foram autorizadas a serem os operadores globais deste serviço, a saber:

1. O *Space Weather Prediction Center (SWPC)*: liderados pela NOAA e NASA, (EUA).
2. O consórcio PECASUS: acrônimo dos países: Finlândia (líder), Bélgica, Reino Unido, Polônia, Alemanha, Holanda, Itália, Áustria, e Chipre.
3. O consórcio ACFJ: acrônimo dos países: Austrália, Canadá, França e Japão.

Os centros regionais não serão utilizados para a prestação do serviço de clima espacial para a aviação civil, pelos próximos dois anos, contados a partir de novembro de 2019.

Neste sentido, são listados a seguir alguns produtos importantes na prestação dos serviços de clima espacial para a aviação civil:

1. Região ionizada por *flares* (MUF);

2. Cintilação e TEC;
3. Nível de radiação (SEP).

O Programa EMBRACE pode colaborar na avaliação regional das variáveis que monitoram os três itens por deter a rede de sensores em solo brasileiro e alguns países vizinhos.

Como consequência, desta liderança na prestação dos serviços na região o Programa EMBRACE foi convidado a participar de dois dos consórcios internacionais, ACFJ e PECASUS que foram eleitos pela OACI para prestar o serviço de clima espacial para a aviação civil a nível global.

## 5. CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO DO PROGRAMA EMBRACE

Os custos relativos à implementação do Programa EMBRACE foram da ordem de R\$ 23 milhões de reais, os quais estão descritos em detalhes no ANEXO VIII. Deste projeto foi primeiramente liberado R\$ 1 milhão de reais para o início da implementação em 2008, e o restante nos quatro anos subsequentes. Já os custos relativos à operação do programa são da ordem de R\$ 2,4 milhões de reais por ano.

A fonte de recursos orçamentários para o programa EMBRACE é uma ação da Agência Espacial Brasileira (AEB), ação 21AI, Plano Orçamentário 0008 para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação no Centro de Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial (EMBRACE).

São José dos Campos, 01 de julho de 2021.



Dr. Joaquim Eduardo Resende Costa  
Gerente Geral do Programa



Dr. Cristiano Max Wrasse  
Gerente de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação



Dr. Marcelo Banik de Pádua  
Gerente de Operações

**ANEXO I**

**ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DA CEA PARA DISCUSSÃO DA  
PROPOSTA DE CLIMA ESPACIAL (22/08/2007)**

# **Ata da Reunião Extraordinária da CEA para discussão da proposta de Clima Espacial**

## **Data: 22 de agosto de 2007**

**Horário:** 14h00

**Local:** Anfiteatro do IAI

**Presentes:** reunião aberta para participação de toda a CEA.

- 1. Histórico da Proposta:** Coordenador apresenta um histórico sobre a formulação dessa proposta, desde a proposição inicial no GT-7 do Planejamento Estratégico até a montagem de um Projeto de Grande Vulto para ser incluído no PPA 2008-2011; destaca o prazo curto (uma semana – 08/03/2007 a 15/03/2007) para redação de proposta que ao final se relacionou com a montagem de infra-estrutura em 4 anos; proposta teve participação das áreas diretamente envolvidas e foi montada para recursos prioritários na região equatorial; montante total solicitado foi de 26 milhões de reais. Informa que INPE tentou incluir uma atividade (ação sem prazo de conclusão definido; diferente de um projeto que tem prazo definido de duração) em Clima Espacial para o próximo PPA, mas não foi aceita pelo MCT. A alternativa no momento seria ter um PI na atividade de Mudanças Climáticas, com valor total de 2 milhões para 2008.
- 2. Situação Atual:** A discussão desse tema no GCEA (Grupo de Competências em Espaço e Ambiente do Planejamento Estratégico) ainda não foi iniciada; proposta é de trazer a discussão para dentro da CEA para que a proposta parta daqui para o GCEA. Mostrado como o processo de discussão do CST está sendo feito no GCEA para ser tomado como base para discussão do Clima Espacial na CEA.
- 3. Discussões e Deliberações:**
  - Criação da atividade na CEA:** houve consenso para criação da atividade em Clima Espacial na CEA.
  - Procedimentos a serem adotados:** decidida a criação de uma Comissão para elaborar proposta preliminar para montagem da atividade; essa proposta deve ser trazida para nova reunião da CEA e, após aprovação, ser encaminhada ao GCEA.
  - Membros da Comissão:** foram escolhidos os seguintes nomes para compor a Comissão: Walter Gonzalez, Ícaro Vitorello, Jonas de Souza, Eurico de Paula, Hisao Takahashi, Hanumant Sawant, Joaquim Costa e Haroldo Campos Velho (LAC/CTE). A própria Comissão vai designar seu presidente e pode escolher outros nomes para complementá-la.
  - Próximos passos:** Coordenador vai agendar reunião ainda nesta semana para dar início aos trabalhos da Comissão. Nova reunião foi marcada para o próximo dia 12/09/2007 quando a Comissão deve apresentar seus primeiros resultados.

Ata redigida por Antonio Lopes Padilha

**ANEXO II**

**PROPOSTA PARA O PROGRAMA BRASILEIRO DE MONITORAMENTO E  
PREVISÃO DE CLIMA ESPACIAL**

# **Proposta para o**

## **Programa Brasileiro de Monitoramento e**

### **Previsão de Clima Espacial**

**Comissão de elaboração (ordem alfabética):**

- **Eurico de Paula (DAE/CEA)**
- **Hanumant Sawant (DAS/CEA)**
- **Haroldo de Campos Velho (LAC/CTE)**
- **Hisao Takahashi (DAE/CEA)**
- **Icaro Vitorello (DGE/CEA)**
- **Joaquim Costa (DAS/CEA)**
- **Jonas Souza (DAE/CEA)**
- **José Roberto Cecatto (DAS/CEA)**
- **Odim Mendes Jr. (DGE/CEA e representante do GCEA)**
- **Walter Gonzalez (DGE/CEA)**

**Versão 30/11/2007**

**Modificações por Antonio Padilha (CEA) em 03/12/2007**



## **Prefácio**

O Clima Espacial diz respeito à área do conhecimento dos fenômenos solares e ocorrências físicas no ambiente espacial, os quais se manifestam de forma recorrente e afetam os astros e artefatos no espaço. Como aspecto de especial interesse, há as influências naturais sobre o planeta Terra às quais se adicionam presentemente as vulnerabilidades de ampla gama de sistemas tecnológicos, instalações físicas e serviços que atendem as necessidades da sociedade atual, em decorrência do estado ou modificações desse ambiente. O conhecimento e a previsão de diferentes fenômenos que diretamente afetam as atividades humanas, tais como atividades solares, tempestades magnéticas e tempestades ionosféricas, têm grande importância. O INPE, de forma destacada dentre outras atividades que também desenvolve desde seu início em 1964, vem pesquisando os fenômenos espaciais, desde o Sol, espaço interplanetário, magnetosfera, até a ionosfera, a alta e média atmosfera, e geomagnetismo. Além da constante e imprescindível atividade de investigação científica dos fenômenos geoespaciais, vem crescendo a necessidade de informação sobre o Clima Espacial por parte das comunidades tecnológicas e sócio-econômicas. O INPE deve atender a essas demandas fornecendo informações precisas. O presente documento tem, portanto, por objetivo identificar as demandas e informações necessárias para atendê-las, além de propor como organizar esse programa dentro da atual conjuntura.

## **Conteúdo:**

- 1. Missão**
  - 2. Objetivo**
  - 3. Aspectos Gerais**
  - 4. Aspectos Técnicos**
  - 5. Demandas**
  - 6. Produtos e informações**
  - 7. Escopos técnicos e competência do programa**
  - 8. Estrutura do programa**
  - 9. Cronograma de execução**
  - 10. Recursos humanos e Financeiros**
  - 11. Equipamentos de monitoramento**
  - 12. Modelagem e assimilação de dados para visualização e previsão**
  - 13. Cooperação institucional**
  - 14. Análise e autocrítica**
  - 15. Conclusão e recomendações**
- ANEXO 1: Ações identificadas para 2008-2012**

## **1. Missão**

Monitoramento, modelagem e difusão da informação do Clima Espacial com investigação dos fenômenos e previsão dos efeitos significativos no espaço próximo e na superfície do território brasileiro, incluindo impactos em sistemas tecnológicos espaciais e terrestres.

## **2. Objetivos**

Proceder à coleta de dados e manutenção do sistema de observação em Clima Espacial; modelar processos do sistema Sol-Terra em escala global e regional com investigação dos fenômenos; disponibilizar informação em tempo real e fazer a previsão do Clima Espacial; e prover diagnósticos de seus efeitos sobre diferentes sistemas tecnológicos por meio de coleta de dados de satélite, de superfície e modelagem computacional.

## **3. Aspectos Gerais**

O Clima Espacial pode ser entendido como o conhecimento e predição da resposta do ambiente espacial às contínuas mudanças dos fenômenos solares (atividade solar). Dessa forma, os efeitos do Clima Espacial sobre a Terra são conseqüências de diversos fatores, os quais incluem o comportamento do Sol, o espaço interplanetário, o campo magnético terrestre (Magnetosfera) e a natureza da atmosfera. Explosões e ejeções solares injetam grande quantidade da massa e energia solar no meio interplanetário, formando o vento solar e seus transientes, alcançando a Terra e provocando tempestades geomagnéticas e uma série de fenômenos geofísicos que afetam desde o funcionamento de satélites em órbita da Terra até o uso de receptores GPS na superfície. Além do vento solar, o aumento intenso da radiação UV, até o raio X, altera o comportamento da atmosfera neutra, destruindo o ozônio e modificando a camada ionosférica entre outros efeitos.

Esses efeitos são particularmente importantes na ionosfera (região de 80 a 1000 km de altura), a qual se mostra altamente variável e responde de forma distinta a esses agentes

controladores, sobretudo na região equatorial brasileira. A ionosfera recebe perturbação tanto de cima (da Magnetosfera) quanto de baixo (atividade meteorológica e propagação de ondas de gravidade na mesosfera). Nesse caso, o entendimento dos processos do sistema magnetosfera-ionosfera-mesosfera equatorial tem grande impacto sobre o desenvolvimento tecnológico da sociedade atual. Tais fenômenos influenciam fortemente as atividades e os sistemas de aplicações espaciais, causando interferências significativas e até mesmo interrupções nos enlaces ionosférico e trans-ionosférico de telecomunicações (sistema de satélite GPS e aqueles destinados ao sensoriamento remoto por radar), e mesmo em sistemas tecnológicos na superfície da Terra (correntes elétricas induzidas afetando transformadores de linhas de transmissão de energia e a proteção catódica de dutos para transporte de óleo e gás).

No ambiente espacial brasileiro, tais efeitos são particularmente mais intensos devido à grande extensão territorial do país, distribuída ao norte e ao sul do equador geomagnético, à declinação geomagnética máxima e à presença da Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Por exemplo, a ocorrência de bolhas de plasma na ionosfera é mais frequente no Brasil que em outros locais. Na busca de um melhor entendimento sobre os processos eletrodinâmicos e da fenomenologia peculiar da ionosfera equatorial e de baixas latitudes, este programa objetiva em primeiro lugar monitorar os parâmetros físicos essenciais para modelagem da ionosfera equatorial, tais como os parâmetros do Sol, do espaço interplanetário, da magnetosfera, ionosfera e da mesosfera, visualizá-los em tempo real, e desenvolver um modelo de previsão do Clima Espacial na região equatorial, particularmente com a previsão de ocorrência de tempestades geomagnéticas, bolhas de plasma e perturbações na ionosfera.

Já existem vários centros de monitoramento do Clima Espacial no exterior, dentre eles os sistemas em operação nos Estados Unidos (<http://www.spaceweather.com/> , <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/> ), na Europa (<http://www.iono.noa.gr/>), e no Japão (<http://hirweb.nict.go.jp>). Eles divulgam dados do Sol e do espaço interplanetário, alertas de tempestades geomagnéticas, além de parâmetros de interesse particular para as regiões onde se situam (principalmente nas altas latitudes e no hemisfério norte). Para se

diferenciar desses centros, o programa brasileiro de Clima Espacial deve ter seu enfoque em fenômenos particulares da região brasileira, além dos fenômenos de impacto global. Monitoramento da ionosfera na região equatorial, previsão de ocorrência de tempestades ionosféricas, previsão de ocorrência de bolhas de plasma, previsão de tempestades geomagnéticas, correntes na ionosfera e indução no solo vão ser prioridades no programa, pois esses fatores são de grande interesse para as comunidades tecnológica e sócio-econômica brasileiras.

#### **4. Aspectos Técnicos**

As atividades humanas, hoje, são cada vez mais dependentes de serviços espaciais (como, por exemplo, GPS e satélites em geral), os quais são vulneráveis aos distúrbios solares. Devido a isso, o estudo e a capacidade de previsão do Clima Espacial serão fundamentais em um futuro próximo para o desenvolvimento autônomo de um país como o Brasil. Para realizar esses estudos é crucial que se disponha de uma rede de experimentos em superfície, com ampla cobertura longitudinal e latitudinal, destinada a monitorar em alta resolução e continuamente o regime da atmosfera superior, ionosfera e troposfera-mesosfera em nossa região. Também, medidas originárias de futuros satélites científicos serão essenciais para integrar todas as informações. Em adendo à coleta de dados, as modelagens matemáticas dos processos interativos Sol-Terra e processos ionosféricos serão essenciais para se almejar propósitos práticos, tais como previsões do Clima Espacial e diagnósticos de seus efeitos sobre diferentes sistemas tecnológicos.

O Sistema Brasileiro de Previsão e Monitoramento do Clima Espacial aqui proposto será constituído por **duas grandes áreas de atuação**, alicerçadas em pesquisa científica, as quais são fortemente interdependentes: uma área global designada Sol-Meio Interplanetário-Magnetosfera e uma área regional denominada Ionosfera-Média Atmosfera-Terra. A área de espaço Sol-Meio Interplanetário-Magnetosfera terá como finalidade o diagnóstico de fenômenos da atividade solar e seus efeitos no espaço interplanetário entre o Sol e a Terra (meio interplanetário) e na magnetosfera. Vai utilizar dados de missões espaciais internacionais capazes de produzir imagens de sensoriamento

remoto do Sol (SOHO, STEREO) e observações in-situ do espaço interplanetário e da magnetosfera da Terra (ACE e CLUSTER), além de dados de superfície coletados por telescópios de observação solar e telescópios de observação de raios cósmicos (alguns já existentes e outros a serem instalados neste projeto). No futuro, prevê-se utilizar também dados de satélites e de antenas para rastreamento do espaço profundo. Os principais produtos serão diagnósticos e previsões das condições do geoespaço vizinho à Terra (previsão do instante de ocorrência de distúrbios geomagnéticos com antecedência em tempo útil, previsão de intensidade, diagnóstico de eventos severos, etc.). Esses resultados serão utilizados como parâmetros de entrada para os estudos e modelos de variabilidade do Clima Espacial Regional (região brasileira).

O aspecto regional Ionosfera—Média Atmosfera—Terra terá como finalidade o estudo e a modelagem da variabilidade da ionosfera a partir das especificidades da região brasileira. Deve incluir modelagem da atmosfera neutra superior, propagação de ondas de gravidade e ondas planetárias, monitoramento e modelagem da ionosfera equatorial (detalhando irregularidades ionosféricas e seus efeitos na transmissão de ondas eletromagnéticas), das variações do campo geomagnético e dos efeitos das correntes ionosféricas do Eletrojato Equatorial nessa região. Utilizará dados de sondas ionosféricas, imageadores ópticos, radares e magnetômetros, a serem instalados preferencialmente na região Norte do Brasil, os quais serão integrados a estações já existentes e a satélites de baixa altitude focados na região equatorial (EQUARS). Essa infra-estrutura vai formar uma rede única, capaz de monitorar o comportamento da ionosfera. Será utilizada para desenvolver metodologias e modelos que possam levar à previsão do “clima ionosférico” sobre o território brasileiro, fonte de problemas em diversos sistemas tecnológicos na superfície e no espaço, como por exemplo nos sistemas de operação e navegação de aeronaves a partir de satélites.

## **5. Demandas**

A demanda atual tem sido esporádica, através de contatos individuais com pesquisadores que dispõem de informações pontuais através de seus experimentos científicos. Em alguns casos, empresas financiam levantamentos para avaliar efeitos do Clima Espacial

em sistemas localizados. Com a disponibilidade dos produtos gerados por este programa essa demanda tende a crescer significativamente, pois as informações a serem disponibilizadas podem contribuir para uma performance contínua e confiável de aplicações que usam a propagação de rádio e são afetadas pelo Clima Espacial. Em particular, os distúrbios ionosféricos afetam principalmente os sistemas de comunicação e navegação na banda VLF-LF, comunicações na banda HF, emissoras de rádio na banda HF, diferentes tipos de radares, satélites de comunicação e navegação, linhas de transmissão de energia, dutos de transporte de óleo e gás. No setor aéreo, hoje, os aviões comerciais utilizam o sistema de GPS (GNSS) para navegação e, no futuro próximo, os utilizarão também para decolagem e aterrissagem. A alta precisão de posicionamento em tempo real é requisito essencial para esse tipo de operação, com o monitoramento da ionosfera e previsão de perturbação ionosférica sendo extremamente importantes nesse caso. Considerando esse vasto intervalo de aplicações influenciadas pelos efeitos ionosféricos, a comunidade de usuários potenciais é bastante extensa. Inclui a área de defesa e a aviação civil, operadoras de radiodifusão, pesquisadores da atmosfera superior, operadores de radioamadores, empresas de transmissão de energia elétrica e de produção e transporte de petróleo e seus derivados.

A divulgação do Clima Espacial em escolas do ensino médio e superior tem também uma importância singular. Visualizar os fenômenos e demonstrar seus efeitos para a sociedade despertará a curiosidade científica em estudantes e na sociedade em geral, reforçando a importância do espaço nas atividades humanas.

Outro aspecto crucial é que a disponibilidade de dados de monitoramento do Sol por radio telescópio, dados de satélites, dados de raios cósmicos, dados de monitoramento da ionosfera e mesosfera em tempo real devem criar um novo horizonte de pesquisa. Acoplamento de magnetosfera–ionosfera e mesosfera-ionosfera, por exemplo, podem ser investigados através de vários parâmetros físicos observados simultaneamente com a visualização em tempo real.

Uma lista de setores e áreas que devem se interessar em receber as informações do Clima Espacial inclui:

1. Setor de telecomunicação
2. Setor de energia elétrica
3. Setor de navegação aérea, marítima e terrestre
4. Geodésia e Georeferenciamento de imóveis rurais
5. Comunidade científica
6. Setor de prospecção mineral e hidrocarbonetos
7. Setor de distribuição de combustíveis líquidos, óleos e produtos químicos
8. Meteorologia
9. Sensoriamento remoto
10. Navegação espacial
11. Controle e segurança de satélites
12. Monitoramento dos níveis de radiação
13. Área de educação (escolas)
14. Áreas de tomada de decisão do governo

## **6. Produtos e Informações**

O programa busca monitorar e modelar o Clima Espacial, em âmbito global e regional, com o objetivo de diagnosticar e prever a ocorrência de perturbações ionosféricas e distúrbios geomagnéticos intensos. A seqüência de atividades a serem desenvolvidas após a implantação da infra-estrutura instrumental inclui:

- i) Modelagem de eventos solares (regiões ativas e ejeções de massa coronal) e da interação do vento solar com a magnetosfera da Terra: constitui-se em adaptação, aplicação ou desenvolvimento de modelos de plasma espacial para melhor entender aspectos físicos da fenomenologia do Clima Espacial Global.
- ii) Diagnóstico e previsão da ocorrência de distúrbios geomagnéticos globais: pretende-se disponibilizar um boletim de alerta para ocorrência de possíveis



distúrbios geomagnéticos em 3 níveis diferentes de antecedência e precisão: (1) previsão baseada em observações solares (dados dos satélites SOHO e STEREO), com antecedência de 1 a 3 dias e erro da ordem de 1 dia; (2) previsão baseada em observações da modulação de raios cósmicos (telescópio de múons e detector de neutrons), com antecedência de até 10 horas e erro inferior a 1 hora; (3) previsão baseada em observações do meio interplanetário (com dados do satélite ACE), com antecedência de 40 minutos e erro inferior a 1 minuto, fornecendo o instante da ocorrência e a intensidade do evento (tempestade geomagnética).

- iii) Modelagem de processos físico-químicos e dinâmicos da atmosfera neutra: necessária para estabelecer os efeitos da baixa atmosfera sobre o Clima Espacial.
- iv) Diagnóstico e modelagem da ionosfera equatorial na região brasileira: com o desenvolvimento de modelos de circulação geral que incluam um esquema aeronômico autoconsistente para um sistema termosférico-ionosférico acoplado.
- v) Disponibilização na internet (em tempo ‘quase-real’) de dados da cintilação da amplitude do sinal de satélite GNSS: esses dados são úteis para os sistemas de posicionamento e navegação por GPS e para a previsão da ocorrência das bolhas ionosféricas.
- vi) Monitoramento de correntes elétricas no interior da Terra, induzidas por variações no campo geomagnético: inclui a definição de áreas críticas em função de efeitos sobre linhas de transmissão de energia e dutos para transporte de óleo e gás, a partir de levantamentos da condutividade elétrica do solo.

Uma lista de produtos ou informações úteis para as comunidades inclui:

1. Tempestade magnética
2. Ocorrência de bolhas de plasma
3. Mapa da densidade eletrônica ionosférica (TEC)
4. Ocorrência de ondas de gravidade na mesosfera

5. Ocorrência de *flare* solar
6. Fluxo do vento solar
7. Atmosfera solar em rádio e espectros de fenômenos transientes
8. Correntes induzidas na superfície (GIC)
9. Ocorrência de fenômenos luminosos ou eletromagnéticos transientes (*sprites*, *elves*, jatos gigantes, etc.) na mesosfera e ionosfera
10. Serviços de alerta

## **7. Escopos técnicos e competência do programa**

O Clima Espacial tem como agentes causadores de distúrbios na transferência de partículas e radiação para o ambiente planetário alguns fenômenos transientes que necessitam ser prontamente monitorados. Essa ação envolve determinar as características temporais, espaciais e energéticas desses fenômenos, desde os instantes mais precoces através da observação da radiação eletromagnética produzida no ambiente solar até a chegada das partículas mais lentas à Terra.

O monitoramento de fenômenos transientes solares, tais como as explosões e a ejeção de massa coronal, será realizado em tempo rápido observando a radiação com instrumentos em solo, na banda rádio, e no espaço, nas bandas óptica e raios X. Essa fase envolve diretamente os experimentos BSS, BDA, Espectrômetro Centimétrico Solar e ionossondas, operados em solo, e instrumentos a bordo de satélites (coronógrafos e sensores de raios X, magnetômetros), visando a identificação instantânea e prévia (forecasting) do transiente. Nesse estágio devem ocorrer ainda análises e modelagem para determinação de espectros de partículas e radiação, visando a previsão de distúrbios subsequentes. Após a caracterização do fenômeno quanto à energia envolvida, aceleração e parâmetros geométricos, sua chegada ao ambiente próximo à Terra é evidenciada pela detecção de *múons*, ionização de elementos atmosféricos e perturbações magnéticas. A modelagem e detecção direta de bolhas e condições ionosféricas, a determinação dos índices clássicos de atividade magnética (Dst, AE e Kp) e a avaliação e previsão dos

impactos das correntes telúricas geomagneticamente induzidas (GIC) são outros trabalhos essenciais do programa.

O programa prevê as seguintes atividades e ações para gerar os dados e as modelagens necessárias para a previsão do Clima Espacial:

- aprimoramento do sistema de coleta de dados, composto de rádio telescópio, cintilador, telescópio cintilador de *múons*, detetor de partículas, receptor de GPS, ionosonda, radar VHF, imageador, radar meteórico, radar de laser, magnetômetro, sensor de campo telúrico e detetor de GIC;
- coleta de dados de satélites, incluindo os SOHO, TRACE, STEREO, LATTES, HINODE, C/NOFS, EQUARS, ROCSAT-2, ACE, RHESSI;
- monitoramento de fenômenos interplanetários;
- monitoramento da irradiância solar;
- mapeamento da densidade eletrônica ionosférica (TEC), das irregularidades (bolhas) ionosféricas, das atividades de ondas de gravidade na mesosfera e de atividades de *sprites*, *elves* e jatos gigantes;
- mapeamento da atmosfera solar em rádio e espectros de fenômenos transientes em tempo real;
- previsão de fenômenos transientes solares;
- diagnóstico e previsão de tempestades geomagnéticas;
- diagnóstico e previsão de correntes induzidas na superfície (GIC);
- serviços de alerta.

Os dados coletados serão assimilados a programas de computação para modelagem e previsão:

- modelagem de previsão global para o sistema Sol—Magnetosfera;
- modelo diagnóstico solar;
- modelo de acompanhamento interplanetário;
- modelagem de reconexão;
- modelagem de linhas de campo magnético da coroa solar;

- modelagem de previsão regional da ionosfera equatorial e indução eletromagnética;
- modelo estatístico de parâmetros ionosféricos;
- modelo de processos ionosféricos;
- modelo regional do TEC (conteúdo eletrônico total);
- modelo da estruturação condutora da Terra e modelos do campo eletromagnético induzido;
- modelo de ocorrência de fenômenos luminosos transientes na média e alta atmosfera.

Será também necessário criar um banco de dados, o qual deve servir tanto para visualização dos dados como para assimilação desses dados aos programas. Atividades incluem:

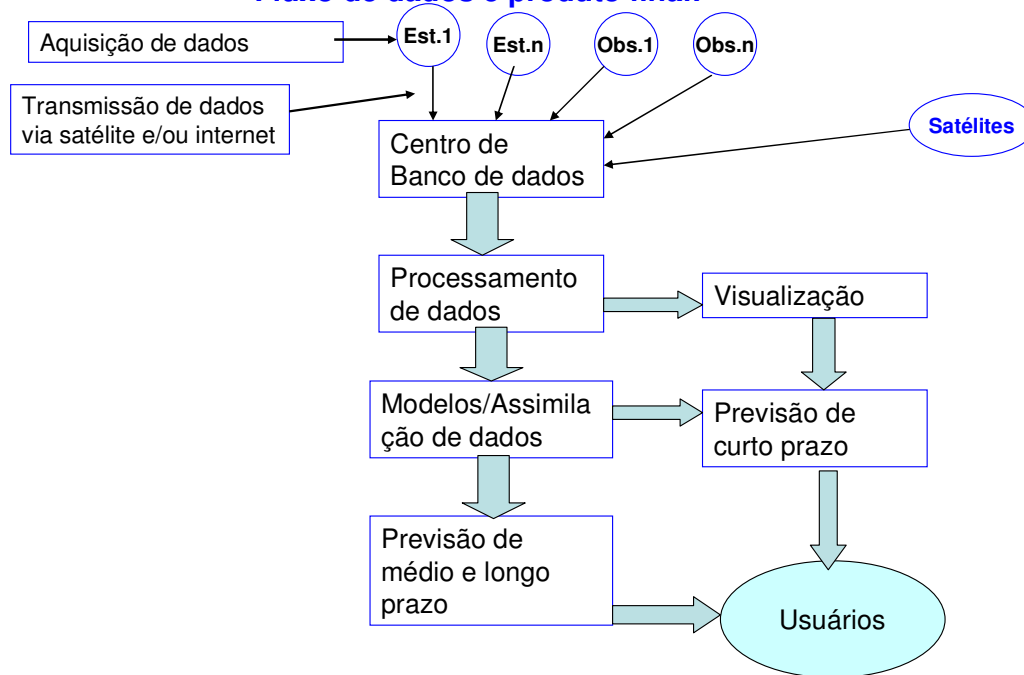
- operacionalização do banco de dados;
- divulgação de diagnósticos e prognósticos do Clima Espacial.

## **8. Estrutura do Programa**

O Programa prevê essencialmente 3 atividades: coleta de dados, processamento de dados e modelagem, e divulgação dos resultados. A estrutura de sub-grupos de trabalho está demonstrada na Figura 1. Aquisições de dados serão efetuadas por estações estrategicamente distribuídas no país. Elas incluem observatórios de radio telescópio, telescópios de *múons*, estações de receptor GPS, observatórios de ionosfera e estações de magnetômetro. Os dados coletados devem ser enviados em tempo real através de comunicação através da internet ou pelo satélite SCD. Os dados de satélite (SOHO, ACE, CLUSTER, entre outros) serão disponibilizados através de cooperação institucional. O gerenciamento desses dados, seu processamento e o armazenamento em um banco de dados para utilização imediata serão os próximos passos importantes. Os pesquisadores das diversas áreas de atuação, isto é, Sol, magnetosfera, ionosfera, mesosfera e geomagnetismo, devem participar ativamente desses processos. Visualização de fenômenos importantes, tais como explosões e ejeções solares, variação do campo

magnético, distúrbios ionosféricos e bolhas de plasma, deve ser buscada e divulgada nessa fase.

**Figura 1. Atividades e execução dos projetos:**  
**Fluxo de dados e produto final:**



Modelagem e assimilação de dados nos programas de previsão do Clima Espacial serão os próximos passos a serem implementados. Os programas computacionais principais serão desenvolvidos e testados no decorrer do projeto, mas deve haver prioridade inicial para a capacitação operacional do Programa. A participação ativa da CTE (em particular através de seu Laboratório Associado de Computação - LAC) é considerada fundamental.

Na Figura 2 é demonstrada a estrutura funcional do Programa. Como mencionado anteriormente, vai-se ter 3 sub-ações: Sol—Meio Interplanetário—Magnetosfera (Grupo 1), Ionosfera—Média Atmosfera—Terra (Grupo 2) e o Sistema Científico de Previsão do Clima Espacial (Grupo 3). Os grupos 1 e 2 vão se responsabilizar pelo suprimento do

banco de dados, enquanto o grupo 3 vai se responsabilizar pelo processamento e assimilação dos dados e a divulgação das informações. A política de coleta de dados, sua divulgação, definição de prioridades de execução do Programa, entre outros, deverão ser definidos pelo Conselho do Programa, formado por pesquisadores dos diversos grupos envolvidos (sobretudo CEA e CTE).

Figula 2. Estrutura Funcional do Programa



## **9. Cronograma de execução do programa**

O programa terá sua atividade iniciada a partir do ano fiscal de 2008, quando os primeiros recursos financeiros serão alocados. É altamente recomendada a formação das equipes dos 3 sub-grupos já no início de 2008, inclusive com novas contratações. A meta

a ser buscada em um prazo de 4 anos inclui o estabelecimento de pelo menos 50% do total previsto das estações de monitoramento, o funcionamento parcial do banco de dados, a divulgação dos dados e “*nowcasting*”, e o serviço de alerta para alguns parâmetros essenciais.

Um cronograma preliminar para os próximos 5 anos inclui:

Período:	Providência:
2008	Formação da estrutura do programa, estabelecimento de comunicação via internet entre as estações de receptores e o centro de banco de dados, visualização de alguns dados disponíveis para “ <i>nowcasting</i> ” e preparação de novas estações de monitoramento. Aquisição de equipamentos e contratação de recursos humanos. Preparação para criação do laboratório de Clima Espacial.
2009	Criação de laboratório de Clima Espacial, testes funcionais das estações de observação (pelo menos 20% das estações previstas), transmissão de dados, geração do banco de dados. Serviço de divulgação de alguns parâmetros do Clima Espacial por site da internet.
2010	Estabelecimento do serviço de visualização dos fenômenos do Clima Espacial e “ <i>nowcasting</i> ”. Desenvolvimento do embrião do programa de modelagem do Clima Espacial.
2011	Funcionamento (em pelo menos 50% do total previsto) das estações de monitoramento, com envio de dados em tempo real, e pelo menos dois serviços em funcionamento (alerta de cintilação ionosférica e alerta de tempestades geomagnéticas, por exemplo).
2012	Instalação de terminais de Clima Espacial nos locais planejadas (pelo menos 5 locais a serem definidos) e transmissão “ <i>nowcasting</i> ” e “ <i>forecasting</i> ” parcial.

## **10. Recursos Humanos e Financeiros**

Para executar o programa e produzir resultados em tempo relativamente curto (3-5 anos) é indispensável que se considere a montagem de uma equipe com novos recursos humanos. Isso porque com o atual quadro de pesquisadores e funcionários de apoio técnico dos grupos envolvidos, sobretudo na CEA, não é possível a realização das ações previstas. Portanto, é fundamental o fortalecimento do quadro de pessoal com novas contratações. As vagas solicitadas para cada sub-área são:

**Tabela 1 – Recursos humanos a serem contratados para implantação do Programa**

<b>Categoria</b>	<b>Sol-Magnetosfera</b>	<b>Ionosfera-Terra</b>	<b>NPCE/Banco de Dados</b>	<b>NPCE/Previsores</b>	<b>NPCE/Modelagem</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Pesquisadores</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
<b>Tecnólogo (Dr.)</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>12</b>
<b>Tecnólogo (nível superior)</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>18</b>
<b>Técnico</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>14</b>
<b>Operador</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>18</b>
<b>Secretaria</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>TOTAL GERAL</b>						<b>72</b>

A parte inicial de implantação do Programa vai constar de 3 fases: (1) montagem de infra-estrutura para detecção de efeitos globais e regionais; (2) montagem de infra-estrutura para o processamento de dados e o banco de dados; (3) montagem de infra-estrutura para modelagem dos dados e divulgação. Para cálculo dos montantes envolvidos foram considerados os valores disponíveis para aquisição dos instrumentos necessários (capital) e despesas assessorias com importação (custeio). Para os valores referentes à etapa de instalação (capital e custeio) considerou-se a experiência prévia dos grupos do INPE com equipamentos similares. No total, os gastos na etapa de implantação da rede vão totalizar 20 milhões de reais no período de 4 anos. A tabela a seguir discrimina os gastos durante esse período de instalação do projeto (valores em milhares de reais):



**Tabela 2 - Orçamento previsto para o período 2008-2011**

	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Capital	1000	6.000	6.000	7.000
Custeio	300	1.000	2.000	3.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.300</b>	<b>7.000</b>	<b>8.000</b>	<b>10.000</b>

Observe-se que os recursos de custeio incluem a contratação de serviços de terceiros.

## **11. Equipamentos de Monitoramento**

Os equipamentos a serem utilizados para monitorar os parâmetros físicos necessários para o banco de dados são a seguir separados em seus diferentes grupos.

**Tabela 3 – Equipamentos do grupo Sol—Meio Interplanetário—Magnetosfera**

<b>Item</b>	<b>Nome do equipamento</b>	<b>Obs.</b>
<b>1</b>	<b>BSS (Brazilian Solar Spectroscope)</b>	
<b>2</b>	<b>BDA (Brazilian Decimetric Array)</b>	
<b>3</b>	<b>SPUA (Solar Patrol Un-phased Array)</b>	
<b>4</b>	<b>Espectrômetro Centimétrico Solar</b>	
<b>5</b>	<b>Adaptação da Antena de Cuiabá</b>	para recepção dos dados de satélites e preparação para a implantação de uma antena de espaço profundo
<b>6</b>	<b>Upgrade do Telescópio Cintilador de Muons – TCM</b>	necessário para ter a mesma sensibilidade dos outros observatórios (de 2x28 m <sup>2</sup> para 2x36 m <sup>2</sup> de área de cintilador)
<b>7</b>	<b>Satélite SOHO</b>	
<b>8</b>	<b>Satélite TRACE</b>	
<b>9</b>	<b>Satélite STEREO</b>	
<b>10</b>	<b>Satélite HINODE</b>	

Uma breve descrição desses instrumentos é dada a seguir:

**BSS:** O instrumento Brazilian Solar Spectroscope (BSS), em operação desde 1990, é o único espectrógrafo da América Latina e do hemisfério Sul dedicado à investigação em tempo real de fenômenos solares e ao monitoramento diário (11-19 UT) da atividade solar dentro da banda de ondas de rádio decimétricas (1000-2500 MHz). Esse

instrumento opera em conjunto com uma antena de 9 m de diâmetro, de montagem polar, que está instalado na sede do INPE, em São José dos Campos, SP. Opera com altas resoluções em frequência (3 MHz), temporal (até 200 espectros por segundo) e alta sensibilidade (~ unidades de fluxo solar), gerando cerca de 100 Mb/dia. A partir das observações do satélite Skylab na faixa dos raios-X, descobriu-se que a região de aceleração de partículas dos “flares” solares ocorre em regiões da atmosfera solar cujas densidades são da ordem de  $10^9 - 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ . Por outro lado, sabe-se que a emissão de plasma associada com densidades dessa ordem de grandeza encontra-se dentro da banda de ondas de rádio decimétricas. Nesse caso, as observações em ondas decimétricas do BSS fornecem informação direta sobre as regiões de liberação de energia e aceleração de partículas para os “flares” solares. Portanto, a detecção de assinaturas espectrais pré-“flares” em tempo “real”, associadas à ocorrência dos “flares” e disparo de CMEs, bem como o próprio registro em tempo “real” da fase impulsiva dos “flares”, são de fundamental importância para o processo de previsão da ocorrência e determinação das características dos fenômenos, e conseqüentemente de suas implicações para o Programa de Clima Espacial.

**BDA:** O Brazilian Decimetric Array (BDA) é um radio-interferômetro de custo otimizado que emprega técnicas modernas de interferometria dentro da banda rádio (1,2-1,7, 2,8 e 5,6 GHz). As 5 antenas do protótipo, instaladas no INPE-Cachoeira Paulista, já se encontram em operação desde o final de 2004. Trata-se de um imageador rápido (~ 10 imagens por segundo) que em 2007 teve sua Fase-II de desenvolvimento aprovada como Projeto Temático pela FAPESP. Ao final dessa fase, prevista para 2009, 26 antenas de 4 m de diâmetro, distribuídas numa configuração em forma de “T”, com linhas de base de 252 m e 162 m, respectivamente nas direções Leste-Oeste e Sul, estarão fornecendo imagens do Sol na faixa de frequências citada acima, com uma resolução espacial de até 45 segundos de arco em 5,6 GHz. No seu formato final, o arranjo será composto de 38 antenas idênticas, distribuídas em linhas de base de cerca de 2km x 1km, respectivamente nas direções Leste-Oeste e Sul, de alta sensibilidade - até ~ 0,1 Jy/feixe para 10 minutos de integração - permitindo resoluções de até 5 segundos de arco em 5,6 GHz. Trata-se do único radio-heliógrafo do hemisfério Sul Ocidental dedicado ao imageamento da

atmosfera solar, o qual vai permitir prever o início do disparo de CMEs, partículas energéticas dos “*flares*” e vento solar. Com as imagens do BDA de regiões ativas, buracos coronais e “*flares*”, e usando a técnica de tomografia espectral para análise de arcos coronais, será possível fazer a reconstrução 3D dos arcos magnéticos coronais em tempo “real” para o diagnóstico e prognóstico da atividade solar. Isso será efetuado através do processamento, visualização e análise das imagens solares registradas pelo BDA num sistema computacional de alto desempenho, já em operação, composto de um “*cluster*” de 32 processadores Xeon de 2.4 GHz, duas estações - uma de administração e outra de acesso - e uma máquina paralela baseada em DSPs (Digital Signal Processors). Esse sistema já foi testado com sucesso para imagens solares de raios-X do satélite Yohkoh, e devem ser gerados dezenas de Gb/dia de dados.

A operação simultânea tanto do BDA quanto do BSS, com resolução temporal de cerca de 10 conjuntos de dados por segundo, nos fornecem espectro e imagem dinâmicos em tempo real dos fenômenos solares que ocorrem na alta cromosfera e baixa coroa com potencial aplicação para anúncios de alertas e nos processos de diagnóstico e prognóstico do Clima Espacial. Deve ser ressaltado que o caráter operacional de tempo “real” e ininterrupto dos instrumentos exige, como parte de sua infra-estrutura, a conexão a uma rede computacional estável e de alta velocidade, além de um número suficiente de operadores dos instrumentos. Para conexão dos instrumentos, existe a rede Kyatera (FAPESP) que eventualmente poderá ser estabelecida para conectar os vários instrumentos do programa. A viabilidade de uso dessa rede deve ser avaliada e caso não possa ser utilizada uma outra alternativa deverá ser estudada.

**SPUA:** arranjo de três antenas, de 1m de diâmetro cada, com receptores em rádio na banda ku (12 GHz) que monitora o disco solar para detecção de explosões solares. O arranjo é dotado de um sistema automático de alerta do início do transiente, em tempo real. Esse arranjo já está operacional e deve receber um pequeno investimento para operação contínua e transmissão de dados ao banco de armazenagem do projeto. O sistema encontra-se instalado no Rádio Observatório do Itapetinga e vai se ligar à internet através de fibra óptica aérea a ser instalada pela Embratel. Sua frequência de operação

está centrada na banda em que a explosão tem sua emissão máxima para facilitar a pronta detecção do início do fenômeno. A técnica de empregar três antenas resulta na determinação precisa da direção da emissão no interior do disco com uma resolução de minutos de arco. O experimento gera 7 MB/dia e é compatível com uma transmissão por internet padrão para qualquer sítio no INPE. Precisa-se, porém, de um operador em tempo parcial para a manutenção contínua do instrumento.

**Espectrômetro Centimétrico Solar:** trata-se de uma antena de 4m de diâmetro operando um alimentador de banda larga do tipo 'Cavity Backed', para observar o espectro de emissão de explosões solares na banda canônica de emissão (de 2 à 40 GHz). Mede a emissão de radiação circularmente polarizada das explosões solares em seus dois modos. A detecção primordial é usada para resolver o problema inverso da determinação do espectro de partículas, que foram aceleradas durante a liberação abrupta de energia na explosão, a partir do espectro de fótons. Provê parâmetros fundamentais relacionados com a propagação desse distúrbio no espaço interplanetário até a sua chegada à Terra. O experimento deve gerar 250 MB/dia e analogamente ao caso anterior é compatível com uma transmissão por internet padrão para qualquer sítio no INPE. Também precisa de um operador em tempo parcial para a manutenção contínua do instrumento.

**Antena adaptada de Cuiabá:** de imediato, a estação de Cuiabá (13m, 800Mh) poderá ser adaptada para rastrear o satélite Stereo, em baixa resolução, permitindo a obtenção, por exemplo, de informações de coronógrafo e UV. Essa adaptação também interessaria a organismos internacionais e nos prepararia para participar em projetos de grande porte (por exemplo, "Deep Space Network", com antenas de 25m, para acompanhar satélites no ponto lagrangeano entre o Sol e a Terra, além de satélites em torno de outros planetas).

**Telescópio Cintilador de Múons (TCM):** encontra-se instalado no Centro Regional Sul, em São Martinho da Serra/RS. É capaz de observar raios cósmicos secundários em várias direções, tendo sido projetado para operação em conjunto com um telescópio similar instalado no Japão (Nagoia). Observações conjuntas permitem a detecção de distúrbios solar-interplanetários até 10 horas antes de sua chegada à Terra, permitindo previsão da

ocorrência de tempestades geomagnéticas. O TCM encontra-se 80% concluído, já sendo capaz de fornecer dados para o Programa.

Para o grupo Ionosfera-Média Atmosfera-Terra tenciona-se instalar 6 estações de monitoramento da ionosfera na região equatorial, a saber: Belém, Alta Floresta, Rio Branco, Boa Vista, Campo Grande e Cachoeira Paulista. Todas essas estações devem ser equipadas com digissonda, imageador e magnetômetro. Detalhes são dados a seguir:

**Tabela 4 – Equipamentos do grupo Ionosfera-Média Atmosfera-Terra**

Item	Nome do equipamento	Quantidade	Obs.
1	Ionosonda	7	novos e reforma da rede existente
2	Imageador all sky	5	
3	Magnetômetro	5	
4	SMT		sistema magnetotelúrico
5	SMG		sistema monitor de GIC
6	Imageador <i>sprite</i>	5	
7	Radar ST	1	A ser instalado em Alto Floresta
8	Radar meteórico	2	A serem instalados em Belém e Rio Branco
9	Módulo (Container)	5	Instalação de equipamentos com comunicação pela internet
10	Satélite C/NOFS		
11	Satélite EQUARS		

**Ionossonda:** empregadas para gerar dados de  $h'F$ ,  $foF2$ , em intervalo de 5 minutos, a serem utilizados na assimilação de dados.

**Imageador all sky:** para gerar imagens de OI6300 e OHNIR, monitorar a ocorrência de bolhas de plasma e atividades de ondas de gravidade na mesosfera para “*nowcasting*”

**Módulo:** *container* a ser equipado com equipamentos de ionosonda, magnetômetro, imageador, receptor GNSS, sistemas no-break e de transmissão de dados via internet/radio.

**Sistema Magnetotelúrico (SMT):** a serem instalados próximos de estações GPS fornecem informações sobre a distribuição da condutividade elétrica no interior da Terra. São constituídos por sensores do campo eletromagnético (magnetômetros e eletrodos) e uma unidade central de aquisição, pré-processamento, transmissão em tempo quase-real e armazenamento de dados. Os diversos subsistemas são alimentados por bateria, a qual pode ser recarregada por células solares. O desempenho de funcionamento do sistema de aquisição pode ser controlado por dispositivo de monitoração, onde são mostrados alguns parâmetros que caracterizam o funcionamento do mesmo durante o período em que permanece ligado. A transmissão de dados é dependente do local, podendo ser via internet e satélite.

**Sistema Monitor de GIC (SMG):** a serem instalados em sub-estações de linhas de transmissão de energia, para registros diretos de ocorrência de correntes geoeletricamente induzidas nessas linhas. O sistema é constituído por dois amperímetros, cada um tendo dois sensores de efeito Hall, acoplados aos neutros de transformadores em sub-estações. O dispositivo baseia-se no efeito Hall, que converte o campo magnético gerado pela corrente fluindo no condutor (cabo de cobre do neutro) para uma voltagem proporcional ao campo gerado. O sistema é instalado em uma caixa termicamente isolada e contendo também um sensor, para correções da temperatura. Os dados podem ser transmitidos via telefone (Modem).

**Tabela 5 – Grupo de Computação e Modelagem**

<b>Item</b>	<b>Nome do equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Obs.</b>
<b>1</b>	<b>Display</b>	<b>5</b>	
<b>2</b>	<b>Terminais de trabalho</b>	<b>10</b>	
<b>3</b>	<b>Sistema de alto desempenho</b>	<b>1</b>	
<b>4</b>	<b>Servidor BD-1</b>	<b>1</b>	
<b>5</b>	<b>Servidor BD-2</b>	<b>1</b>	

## **12. Modelagem e Assimilação de Dados para Visualização e Previsão**

(1) **Modelo global-regional de TEC:** baseado no modelo da ionosfera para a região equatorial (SUPIM). O modelo fornece um mapeamento global da distribuição do conteúdo total dos elétrons na ionosfera (TEC), em função do tempo. Dados sobre a ionosfera, tais como foF2, hmF2, h'F obtidos por ionossondas na superfície, TEC, a partir de receptores GNSS na superfície e de satélites (COSMIC, CHAMP), serão utilizados para assimilação. Alguns programas já se encontram em operação, tanto para atividades de pesquisa como em nível comercial, como por exemplo o GAIM do JPL. O grupo de ionosfera da CEA deve investigar a forma de adquirir esse ou outro programa no prazo de 6 meses. O desenvolvimento dos modelos deve ocorrer a partir do segundo semestre de 2008.

(2) **Modelo de cintilação ionosférica:** esse programa visualiza a área de cintilação da ionosfera na região brasileira com os dados de cintilação dos receptores do sinal GPS (total de 26 estações espalhadas no território nacional). O programa de “*nowcasting*” (desenvolvido por Dave Anderson) já está em funcionamento no grupo de ionosfera da CEA. Pode gerar previsão de 0 a 2 horas, caso a assimilação de dados de todos os receptores alcance 5 minutos de intervalo. Dessa forma, a “*nowcasting*” da cintilação ionosférica será possível em modo operacional em um prazo de 12 meses, caso a transmissão de dados coletados por receptores GPS entre em operação de imediato.

(3) **Modelagem dos distúrbios solares:** são envolvidos cálculos de modelos de emissão radiativa, produção e propagação de partículas em explosões, ejeção de massa coronal (CME's) e vento solar. A modelagem completa trata da instabilidade inicial e da propagação da energia em todos seus estágios. O conhecimento envolvido abrange desde a estrutura estelar interior ao conhecimento da atmosfera solar e sua estruturação pelo campo magnético superficial. Todos esses fenômenos produzem distúrbios conhecidos na ionosfera e atmosfera neutra terrestre, chegando na forma de variação da radiação ou da quantidade de cargas elétricas que são aprisionadas e se difundem na magnetosfera terrestre. As modelagens se combinam com as observações em pelo menos três escalas de

tempo: numa escala que antecede e prevê a ocorrência, numa escala que identifica o fenômeno em seu estágio bem inicial e numa escala que tem a duração do fenômeno que acompanha o desenvolvimento do mesmo.

Antecipando se aos fenômenos explosivos são efetuados cálculos estatísticos com base nas probabilidades Bayesianas de parâmetros observados e inferidos no plasma coronal para previsão de explosões, CME's, variações na luminosidade e vento solar. A modelagem da explosão envolve o cálculo da emissão direta de uma distribuição de partículas que foram aceleradas durante a ruptura da estabilidade magnética no ambiente das manchas solares. Essa modelagem calcula a emissão a partir do conhecimento do espectro de radiação medido e do conhecimento prévio do campo magnético local. A determinação do campo em nível cromosférico e coronal é também fruto de modelagem computacional, obtida a partir da teoria de correntes quase paralelas ao campo no plasma e medidas do valor desse campo na fotosfera solar por instrumentos ópticos (por exemplo, o MDI a bordo do satélite SOHO). A distribuição de partículas obtida na inversão desse problema fornece a medida inicial da dinâmica e a energia envolvida do distúrbio em andamento. Essa modelagem pode ser feita desde os instantes iniciais dos fenômenos, antecipando os efeitos subseqüentes na Terra.

As ejeções de massa coronal (CME) estão estatisticamente relacionadas (em sua maioria) às explosões solares e são modeladas em seus instantes mais precoces pela detecção do espectro decimétrico e centimétrico da radiação da explosão, alimentando modelos magneto-hidrodinâmicos. A partir de observações coronais com coronógrafos em satélites (p. ex. SOHO) são também determinadas as acelerações das partículas na ejeção, direção e conteúdo energético que complementam as informações espectrais da explosão associada e possibilitam a previsão de conseqüências tardias que afetem o clima espacial. Todas essas modelagens estão em estágio de desenvolvimento, cuja inter-relação é ainda objeto de estudo dos diferentes centros de pesquisas do Clima Espacial.

**Modelos dos efeitos de indução geomagnética:** A previsão de efeitos deletérios em condutores longos e lineares dispostos na superfície terrestre baseia-se na estimativa do



comportamento das variações geomagnéticas e da impedância da Terra. O processo físico envolvido vincula-se ao fenômeno eletromagnético pelo qual campos magnéticos, permeando de modo difuso no interior da Terra, induzem correntes telúricas aproximadamente em direção perpendicular ao campo magnético.

Duas abordagens são normalmente utilizadas nos modelos: *i*) a empírica tendo por base a estatística histórica das observações de “índices de atividade” durante tempestades magnéticas e *ii*) a simulação dos processos físicos responsáveis pela geração do sinal magnético e a resposta da Terra (campo telúrico) ao campo magnético. A empírica utiliza, portanto, “índices globais” como a *ap* (*Kp*) de 3 e de 1 hora. A outra utiliza as derivadas do campo magnético horizontal  $dH/dt$  (componente norte-sul) e a  $dD/dt$  (componente leste-oeste), além da impedância da Terra. As amplitudes dos campos geoeletricos induzidos variam em função da frequência do sinal, da taxa da variação do campo geomagnético, e também da distribuição e anisotropia da condutividade na crosta e manto terrestre, as quais variam de acordo com a geologia local. A ocorrência do GIC e a sua magnitude em linhas de transmissão de energia elétrica pode ser estimada de maneira direta, com a instalação de um amperímetro no neutro de transformadores das sub-estações, para produzir dados históricos a serem comparados com “índices” regionais. Para este Programa, necessita-se, primeiramente, fazer uma análise do sinal magnético gerado durante tempestades magnéticas que, eventualmente, podem produzir GIC nas redes de transmissão de energia elétrica.

### **13. Cooperação Institucional**

#### **Cooperações nacionais:**

- **CRAAM (U Mackenzie): monitoramento da ionosfera**
- **UNESP (P. Prudente): monitoramento da ionosfera por receptor GPS**
- **UFCG (Campina Grande): monitoramento da mesosfera e ionosfera**
- **UNIVAP (SJC Campos): monitoramento da ionosfera**
- **UFSCAR (São Carlos): tomografia espectral da coroa solar**
- **IBGE: rede de receptores GPS**

- **ON/MCT: magnetômetros e indução eletromagnética terrestre**
- **PUC (Pocos de Caldas) - Depto. De Ciências: Computação**
- **UFMS (Santa Maria): várias atividades no Convênio INPE-UFMS**

#### **Cooperações internacionais:**

- **NOAA (EUA): Space Weather Center**
- **STEL (Univ. Nagoya): Laboratorio do ambiente Sol -Terra**
- **JPL / NASA (EUA): GPS**
- **ISGI (International Services of Geomagnetic Indices)**
- **ISES (International Space Environment Service)**
- **IGS (International GNSS Service)**
- **SIDC (Solar Influences Data Analysis Center)**
- **Cornell University: GPS**
- **UC Berkeley (EUA) - Radio Astronomy Lab.**
- **NJIT (EUA) - Center for Solar Research**
- **IIA (India)**
- **NCRA-TIFR (India)**
- **MPS (Alemanha)**

#### **14. Análise e Auto-crítica**

O serviço de visualização dos fenômenos solares, do meio-interplanetário e da ionosfera em escala global já está sendo realizado por vários grupos no mundo. Apesar das atividades intensas desenvolvidas por esses grupos, ainda é prematuro afirmar quando será possível prever (*forecasting*) as tempestades magnéticas e efeitos ionosféricos, por exemplo. Dessa forma, a modelagem do Clima Espacial (*space weather*), ainda está longe de alcançar seus objetivos e metas. Essa situação atual não deve ser neste momento comparada com os serviços de previsão de clima e tempo (Meteorologia), os quais já têm mais que 50 anos de sua atividade.

O Brasil não deve direcionar seus esforços para o Clima Espacial em escala global, mas sim voltar-se principalmente para os interesses particulares da nação, relacionados com sua singularidade geográfica. O território brasileiro se estende por mais de 4 mil km na região equatorial. Nessa região ocorrem vários fenômenos ionosféricos, os quais afetam as atividades tecnológicas e econômicas e que foram apontados anteriormente neste texto. Monitoramento, visualização e “*nowcasting*” para comunidades de vários níveis devem ser estabelecidos como prioridade do Programa para realização imediata. Para alcançar o serviço de “*nowcasting*” e a previsão de efeitos ionosféricos é imprescindível juntar informações das atividades do Sol e condições do meio interplanetário e da magnetosfera. A estrutura proposta neste documento para o estabelecimento do Programa de Clima Espacial busca responder a essas necessidades.

Por fim, o Programa de Clima Espacial na forma como está aqui concebido necessita tanto de recursos materiais quanto de novos recursos humanos, não apenas para iniciar e se estabelecer, mas também para garantir a operação ininterrupta de suas atividades. A contratação de pesquisadores e tecnólogos e o apoio financeiro são portanto essenciais para o sucesso do Programa.

## **15. Conclusão e Recomendação**

A Comissão conclui que:

1. a demanda de informação sobre o Clima Espacial (*nowcasting* e *forecasting*) nas áreas tecnológica e social-econômica existe, é relevante e ampla, e abrange setores públicos e privados;
2. o INPE tem competência para atender essas demandas no futuro próximo por meio do Programa de Clima Espacial, ancorado na ampla e diversificada gama de estudos das ciências espaciais e atmosféricas do INPE;
3. o Programa de Clima Espacial se fundamenta na intrínseca e necessária sinergia entre grupos de pesquisa da Ciência Espacial e da Atmosfera (CEA) e do Centro de Tecnologias Espaciais (CTE), a partir de uma estrutura já instalada, que agora

se expande para possibilitar a coordenação e implementação de uma agenda diferenciada de produtos relativos ao Clima Espacial, incluindo a atuação caracterizada dos centros regionais e também outras cooperações nacionais e internacionais;

4. a prioridade do programa nos próximos 3 anos será a visualização e previsão (a) do Conteúdo Eletrônico Total (TEC) e de bolhas na ionosfera equatorial, (b) de tempestades geomagnéticas, (c) da atividade solar, e (d) de alertas sobre seus efeitos;
5. a implementação deste Programa requer uma ampliação da infra-estrutura instrumental, computacional e física, e contratação de recursos humanos de alta qualificação;
6. a comissão recomenda, como consequência das competências e da infra-estrutura existentes, que a sede deva ser instalada em São José dos Campos para implementação e consolidação do Programa de Clima Espacial.

## **ANEXO 1: AÇÕES IDENTIFICADAS PARA 2008-2012**

Para os próximos 5 anos (2008 a 2012), o grupo de trabalho identifica as seguintes ações para focalizar os esforços dos 3 sub-grupos (Sol-Meio Interplanetário-Magnetosfera, Ionosfera-Média Atmosfera-Terra e Centro de Processamento de Dados e Divulgação):

### **1. Modelagem do Sol:**

#### **Modelagem 1.1: Monitoramento da curva de luz solar**

Curva de luz da emissão em rádio de explosões solares e localização da região explosiva no disco;  
Sistema de alerta de erupção e amplitude do fenômeno.

#### **Modelagem 1.2: Modelagem de explosões solares**

Espectros de emissão solar nas bandas centimétrica-milimétrica;  
Modelos de explosões solares para obtenção do espectro de partículas aceleradas;  
Previsão da importância das CME.

#### **Modelagem 1.3: Modelagem de jatos de partículas**

Espectro dinâmico das perturbações solares, incluindo explosões, em ondas decimétricas;  
Modelos em tempo real de jatos de partículas para previsão de partículas energéticas e lançamento de CME na direção da Terra.

#### **Modelagem 1.4: Modelagem de brilho e campo magnético da coroa solar**

Mapas de brilho solar, incluindo explosões, em ondas decimétricas a uma taxa de 10/seg.  
Modelos em tempo real do campo magnético cromosférico/coronal para previsão de lançamento de CME e partículas energéticas em direção à Terra.

### **2. Modelagem do Meio Interplanetário:**

#### **Modelagem 2.1: Modelagem empírica da evolução das ICMEs**

por modelagem empírica, utilizando dados do satélite SOHO, fazer a evolução das ICMEs, obtendo estimativas do tempo de chegada à Terra.

#### **Modelagem 2.2: Monitoramento da atividade solar 3D**

realizar, por modelagem empírica utilizando dados do satélite STEREO,, a evolução de estruturas solares, obtendo estimativas de extensão e intensidade.

#### **Modelagem 2.3 Monitoramento da variabilidade nos raios cósmicos**

realizar previsões da ocorrência de perturbações geomagnéticas, por meio da observação da variabilidade nos raios cósmicos obtida pelo detector de *múons*.

**Modelagem 2.4: *Forecasting* de tempestades geomagnéticas**

realizar previsões do índice geomagnético Dst, relacionado às tempestades geomagnéticas, utilizando os dados do satélite ICE (por modelagem, com a técnica de I. A.).

**Modelagem 2.5: *Forecasting* de efeitos GIC**

Fazer previsão da ocorrência de GIC, relacionadas às tempestades geomagnéticas, utilizando dados do satélite ICE e dados de superfície (por modelagem com a técnica de I. A.).

**Modelagem 2.6: Acoplamento Eletrodinâmico Magnetosfera e Ionosfera**

modelar o campo elétrico de penetração, com a utilização de dados do meio interplanetário obtidos por satélites e dados da superfície terrestre.

**3. Modelagem da Ionosfera Equatorial****Modelagem 3.1: Mapeamento regional do TEC ionosférico**

produzir mapa do Conteúdo Eletrônico Total (CET) sobre o Brasil baseado em assimilação de dados. O CET será obtido por modelo físico e será utilizado para corrigir o atraso no sinal do satélite, com conseqüente melhoria na acurácia do posicionamento por GNSS.

**Modelagem 3.2: *Nowcasting* da cintilação ionosférica**

produzir mapas em tempo real e resultados de modelo estatístico das cintilações ionosféricas causadas pelas bolhas de plasma sobre o Brasil.

**4. Modelagem de Geomagnetismo:****Modelagem 4.1: Indução eletromagnética**

obter modelos de transferência e dissipação terminal da energia eletromagnética incidente na superfície terrestre, para avaliar e prever os impactos das correntes telúricas geomagneticamente induzidas (GIC).

**5. Banco de dados, processamento, assimilação e divulgação**

operacionalizar o Centro de Processamento e Banco de Dados, incluindo a modelagem e implementação do banco de dados e visualização de dados via portal da internet;

desenvolver modelos de assimilação de dados e acoplar com códigos computacionais de dinâmica da ionosfera;

estabelecer serviços de divulgação, com visualização das informações de dados coletados em tempo real e previsão de curtíssimo prazo (*nowcasting*) e curto prazo (*forecasting*).

**ANEXO III**

**ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DA CEA (12/12/2007)**

# **Ata da Reunião Extraordinária da CEA**

## **Data: 12 de dezembro de 2007**

**Horário:** 9h00

**Local:** Auditório Fernando de Mendonça (prédio LIT)

**Presentes:** reunião aberta para participação de toda a CEA.

- 1. Execução orçamentária de 2007:** Coordenador apresenta as planilhas de execução orçamentária da CEA para o ano. Mostra que, nas planilhas do SIPLAN (sistema de controle do INPE), nosso saldo total era de 48 mil reais às 9:00hs do dia 07/12/2007. Devido ao cancelamento de equipamento a ser importado pela Divisão de Astrofísica, menos de 3 horas depois (às 11:47hs desse mesmo dia 07/12) o saldo subia para mais de 233 mil reais. Devido à impossibilidade de envio de novas RCs, vai se discutir com o Diretor do INPE (reunião a ser iniciada ao término desta) a transferência desses recursos para outras áreas com ressarcimento no próximo ano. *(Em tempo: o Diretor reconheceu que o problema não foi gerado pela CEA e vai autorizar a troca solicitada; Daylton se comprometeu por escrito em realizar o processo).*
- 2. Despesas de manutenção em 2008:** são apresentadas as planilhas preparadas pelo Dr. Bogossian (DIR) sobre as despesas diretas e indiretas relacionadas com as atividades da CEA para os meses de junho e julho de 2007. Uma projeção desses dados indica que a CEA gastaria 1.2M de reais por ano para desenvolver suas atividades. Considerando ser nosso PPA de 2.1M de reais por ano, o débito daquele montante da nossa ação inviabilizaria o prosseguimento de nossas atividades. Esse tópico também vai ser discutido com o Diretor na reunião que se segue. *(Em tempo: Diretor analisou nossas planilhas e não viu gastos excessivos que possam ser eliminados; CEA não vai ser penalizada com aumento de contenção administrativa para o próximo ano).*
- 3. Programa de Clima Espacial:**
  - Proposta de criação do programa:** proposta encaminhada pelo Comitê do programa e distribuída para toda a CEA foi aceita sem discussões. Vai-se apenas fazer uma revisão do texto, incorporar algumas sugestões e encaminhar o documento final para o GCEA.
  - Orçamento proposto para 2008:** proposta do Comitê priorizando para 2008 a visualização e “nowcasting” de bolhas de plasma na ionosfera aceita sem discussões. Também foi aceito o orçamento proposto pelo Comitê para uso de 1M de reais (previstos no PLOA 2008) durante o próximo ano.
  - Composição do Conselho do Programa:** alguns nomes foram discutidos; acertou-se que a participação deve ser voluntária; Comitê deve trazer proposta com nomes para uma próxima reunião do Comitê Assessor.

Ata redigida por Antonio Lopes Padilha



**ANEXO IV**

**ATA DA REUNIÃO EXTRAORDINÁRIA DO COMITÊ ASSESSOR DA CEA  
(25/02/2008)**

# **Ata da Reunião Extraordinária do Comitê Assessor da CEA**

## **Data: 25 de fevereiro de 2008**

**Horário:** 10h00

**Local:** Sala de reuniões do prédio CEA

**Membros Presentes:** Antonio Lopes Padilha, Thyrso Villela Neto, Abraham Chian Long Chian, Barclay Robert Clemesha, Delano Gobbi, Hanumant Shankar Sawant, Hugo Vicente Capelato, João Braga, José Oscar Fernandes, José Williams Vilas Boas, Mangalathayil Ali Abdu, Odylio Denys de Aguiar, Paulo Prado Batista, Plínio Carlos Alvalá.

**Convidado:** Hisao Takahashi

**Secretária:** Alexandra Silva Pinto

**1. Conselho do Programa em Clima Espacial:** conforme solicitado pela plenária da CEA em sua reunião de 12/12/2007, o Comitê do Programa de Clima Espacial apresentou ao Comitê Assessor (CA-CEA) uma proposta com nomes para compor o Conselho do Programa. Durante a apresentação da proposta, foi discutida pelo conselheiro Abraham Chian a ausência da área de Magnetosfera no Programa. Foi mencionada a necessidade de reforçar no INPE a atuação nessa área, além de incluí-la no título e nas atividades do Grupo 2a do Programa (ver abaixo a definição dos grupos). Decidiu-se que essa discussão vai ser levada inicialmente ao Comitê do Programa para posteriormente voltar ao CA-CEA. Em seguida os nomes indicados foram discutidos e aprovados por consenso. Os Conselho e Comissão Executiva do Programa ficam assim constituídos:

**(a) Conselho do Programa**

**Missão:** encarregado, entre outras decisões, de representar o programa, direcionar os trabalhos e escolher o representante de cada grupo; é um conselho deliberativo no que se refere ao Programa e seus grupos de trabalho.

**Membros:** Hisao Takahashi, Mangalathayil Abdu (ou Inez Batista), Walter Gonzalez, Ícaro Vitorello, Haroldo de Campos Velho, Maria Virginia Alves, Hanumant Sawant, Joaquim Costa e Eurico de Paula.

**Coordenador:** Hisao Takahashi (provisório, até a primeira reunião do Conselho; em seguida o coordenador efetivo será escolhido pelos membros do Conselho do Programa); sugere-se que esse coordenador receba gratificação de nível DAS-3.

**(b) Comissão Executiva do Programa**

**Grupo 1 (Sol, Meio Interplanetário):** José Cecatto, Hanumant Sawant, Alisson Dal Lago, Odim Mendes, Joaquim Costa, Virginia Alves

**Grupo 2a (Ionosfera, Atmosfera):** Eurico de Paula, Jonas de Souza, Clezio Denardin, (Inez Batista), Delano Gobbi, Hisao Takahashi

**Grupo 2b (Geomagnetismo):** Ícaro Vitorello, Marcelo Banik, Antonio Padilha

**Grupo 3a (Banco de Dados):** Maria Conceição de Andrade e LAC1 (a ser indicado pelo LAC/CTE)

**Grupo 3b (Modelagem e Assimilação):** LAC2, Jonas de Souza, Joaquim Costa, Virginia Alves e Odim Mendes

**Grupo 3c (Divulgação e Homepage):** Clezio Denardin, LAC3 e representantes de cada um dos grupos anteriores

**Grupo ADM:** Gilberto Fernandes, Secretaria 1

2. **Comitê de Busca para a Divisão de Astrofísica:** de acordo com decisão do CA-CEA na reunião de 17/01/2008, a Divisão de Astrofísica definiu os nomes a serem encaminhados ao Diretor do INPE para compor o Comitê de Busca (CB) para escolha de sua chefia. Esses nomes foram referendados pelo CA-CEA e são: Odylio Denys de Aguiar (DAS/CEA), Francisco José Jablonski (DAS/CEA), Vladimir Jesus Trava Airoldi (LAS/CTE), Edson Del Bosco (LAP/CTE) e Sérgio Henrique Franchito (DMD/CPT).
3. **Comitê de Busca para a Divisão de Geofísica Espacial:** os nomes indicados pela Divisão de Geofísica Espacial, e referendados pelo CA-CEA, são: Ícaro Vitorello (DGE/CEA), Odim Mendes Junior (DGE/CEA), Maria Virginia Alves (GAB), Enio Bueno Pereira (DMA/CPT) e Otávio Santos Cupertino Durão (CPA).
4. **Comitê de Busca para a Coordenação da CEA:** de acordo com decisão do CA-CEA na reunião de 24/01/2008, as 3 divisões da CEA trouxeram sugestões de nomes para compor o CB para a Coordenação. Como nomes internos foram indicados: Mangalathayil Abdu, Plínio Alvalá e José Williams Vilas Boas. Como nomes externos foram indicados: Amauri de Medeiros (UFMG), Emanuel Costa (PUC/RJ), Jacques Lepine (USP), Carlos Escobar (UNICAMP), Ricardo Galvão (CBPF) e Igor Pacca (IAG). Os nomes internos foram referendados pelo CA-CEA. Para os nomes externos, decidiu-se por maioria de votos (9 a favor e 5 contra) fazer votação separada em um dos 2 candidatos indicados pela Divisão de Astrofísica e em um dos 4 candidatos indicados pelas Divisões de Aeronomia e Geofísica Espacial. Na área de Astrofísica a votação foi: Jacques Lepine (12), Carlos Escobar (1), branco (1). Nas áreas de Aeronomia e Geofísica Espacial foram votados: Ricardo Galvão (5), Emanuel Costa (4), Igor Pacca (3), branco (1) e nulo (1). Dessa forma, o Dr. Emanuel Costa vai ser suplente aos membros externos e o CB a ser indicado ao Diretor do INPE para escolha da Coordenação da CEA fica constituído por:  
Mangalathayil Ali Abdu (DAE/CEA), José Williams Vilas Boas (DAS/CEA), Plínio Carlos Alvalá (DGE/CEA), Jacques Raymond Daniel Lépine (IAG/USP) e Ricardo Magnus Osório Galvão (CBPF).
5. **Aprovação da Ata:** Ata aprovada pelos membros do CA presentes à reunião.

Ata redigida por Antonio Lopes Padilha

**ANEXO V**

**CARTA CONVITE PARA O INPE SER UM CENTRO DE TREINAMENTO PRÁTICO  
EM METEOROLOGIA ESPACIAL**



International  
Civil Aviation  
Organization

Organisation  
de l'aviation civile  
internationale

Organización  
de Aviación Civil  
Internacional

Международная  
организация  
гражданской  
авиации

منظمة الطيران  
المدني الدولي

国际民用  
航空组织

LN/3.24.1 - SA5380

Lima, 30 de julio de 2018

Sr. Ricardo Magnus Osório Galvão  
Director  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
Sao Paulo, Brasil



Asunto: **RLA/06/901 – Asistencia para la implantación de un Sistema Regional de ATM considerando el concepto operacional de STM y el soporte de tecnología CNS correspondiente**

Agradecimiento por los servicios del señor Joaquim E. R. Costa durante el Seminario en Meteorología Espacial y Modelo de intercambios de Mensajes Meteorológicos de la OACI (IWXXM) - Ciudad de Panamá, Panamá, 16 al 20 de julio 2018

Distinguido señor:

Tengo el honor de dirigirme a usted para expresarle nuestro agradecimiento por el valioso apoyo recibido de su Organismo, que permitió al señor **Joaquim E.R. Costa**, Gerente General del Departamento de Meteorología Espacial, cumplir con éxito su exposición durante el Seminario en Meteorología Espacial y Modelo de intercambios de Mensajes Meteorológicos de la OACI (IWXXM), llevado a cabo en Ciudad de Panamá, Panamá, del 16 al 20 de julio de 2018.

Con el concurso profesional del señor Costa, fue posible cumplir con las expectativas del Seminario, motivo por el cual le ruego se sirva expresarle nuestro reconocimiento por su valiosa colaboración.

Asimismo, aprovecho la oportunidad para expresarle nuestro interés en explorar la posibilidad de realizar en el futuro (finales 2019/2020), un entrenamiento práctico en Meteorología Espacial en sus instalaciones, contando con la aprobación previa de los Estados considerando que los resultados de ese taller serían de beneficio para toda la Región.

Mucho agradeceré contar con su favorable acogida a lo solicitado y recibir su pronta respuesta para iniciar los arreglos administrativos correspondientes.

Le ruego acepte, distinguido señor, los sentimientos de mi mayor consideración y estima.



Fabio Faizi Rahnemay Rabbani  
Director Regional  
Oficina Sudamericana de la OACI  
Lima

**ANEXO VI**

**CARTA DE ACEITE DO INPE PARA SER UM CENTRO DE TREINAMENTO  
PRÁTICO EM METEOROLOGIA ESPACIAL**



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

Av. dos Astronautas, 1758,  
CEP 12227-010 - Bairro Jardim da Granja  
São José dos Campos - SP, (12) 3208-6035

Ofício nº 1860/2018/SEI-INPE

Sr. Fabio Faizi Rahnema Rabbani  
Director  
Oficina Sudamericana de la OACI  
Lima

Señor Director,

Reciba de nuestra parte un cordial saludo y la ratificación de nuestra satisfacción en colaborar con la OACI.

Con mucho gusto concordamos con su propuesta de realizar un entrenamiento práctico en Meteorología Espacial utilizando la infraestructura disponible en el Proyecto EMBRACE del INPE.

Encargamos el Dr. Joaquim Costa de las tratativas administrativas necesarias, por parte de INPE.

Agradeciendo de antemano su colaboración, renovamos nuestros protestos de estima y consideración,  
Atentamente

---

Ricardo Galvão

C/C: Dr. Joaquim Costa



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Magnus Osório Galvão, Diretor do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, em 22/08/2018, às 21:49, conforme art. 3º, III, "b", das Portarias MC nº 89/2014 e MCTIC nº 34/2016.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **3291722** e o código CRC **0745EE50**.



**ANEXO VII**

**DESIGNAÇÃO DO GERENTE GERAL DO PROGRAMA EMBRACE COMO  
REPRESENTANTE BRASILEIRO DA WMO**



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO  
Instituto Nacional de Meteorologia - INMET  
Gabinete do Diretor

Letter nº *214* /2018/GAB/INMET

Brasilia, 28 May 2018

**MR. TOSHIYUKI KURINO**

Chief, Space-based Observing System Division  
WMO Space Programme Office  
World Meteorological Organization (WMO)  
7 bis, avenue de la Paix  
Case Postale 2300  
CH-1211 Geneva 2 Switzerland

**Subject:** IPT-SWeISS Membership (Brazil)

Dear Mr. Kurino,

I would like to refer to WMO's Inter-Programme Team on Space Weather Information, Systems and Services (IPT-SWeISS).

Please note that Dr. Clezio Marcos de Nardin is currently listed as core-member of the IPT-SWeISS, representing Brazil. However, Dr. Nardin was recently appointed as General-Coordinator of Space and Atmospheric Sciences at the National Institute for Space Research (INPE). In this new position, he can no longer develop activities relating to the Brazilian Center for Space Weather Forecast, which contributes to WMO's IPT-SWeISS.

Aiming to maintain our collaboration to IPT-SWeISS, and in my capacity as Permanent Representative of Brazil with WMO, I kindly ask your assistance to replace Dr. Nardin and, in his place, be nominated Dr. Joaquim Eduardo Rezende Costa as core-member of IPT-SWeISS, representing Brazil. His find his contact information listed below:

Name: REZENDE COSTA, Joaquim Eduardo  
Position: General Manager of the Space Weather Program  
Institution: National Institute for Space Research (INPE)  
Email: [joaquim.costa@inpe.br](mailto:joaquim.costa@inpe.br)

Finally, I would also like take this opportunity to reinforce our commitment to support WMO's programmes and activities.

Sincerely,

  
**FRANCISCO DE ASSIS DINIZ**  
Director of INMET  
Permanent Representative of Brazil with WMO

## **ANEXO VIII**

### **INFRAESTRUTURA PARA O SISTEMA CIENTÍFICO BRASILEIRO DE PREVISÃO E MONITORAMENTO DO CLIMA ESPACIAL**

## 1. Dados cadastrais

### Título

Infraestrutura para o Sistema Científico Brasileiro de Previsão e Monitoramento do Clima Espacial

### Programa

1122- C,T&I para Natureza e Clima

### Órgão responsável

MCT

### Unidade orçamentária responsável

MCT

### Unidade administrativa responsável

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

### Finalidade

Implantar a infra-estrutura necessária para um sistema de monitoramento e modelagem do Clima Espacial, visando prever efeitos significativos no espaço próximo e em superfície no território brasileiro, incluindo impactos em sistemas tecnológicos espaciais e terrestres.

### Descrição

Implantação de infra-estrutura para monitoramento de efeitos globais e regionais do Clima Espacial. Esta ação pretende também enquadrar-se na estratégia de descentralização das atividades espaciais nacionais, explorando os centros regionais já existentes. Assim sendo, uma primeira fase seria a criação da infra estrutura necessária para receber o centro de previsão do clima espacial; esta infra estrutura aproveitaria muito do já existente no local, seja em obra civil seja em instrumentação. Ainda assim, independente do centro regional escolhido seriam necessários principalmente equipamentos adicionais para a recepção (antenas), instrumentação geofísica e computacional e processamento de dados.

### Produto

Infra-estrutura implantada

### Unidade de medida

% de execução física

Especificação do produto

Este projeto baseia-se em capacidade já existente no INPE para estudos sobre o Clima Espacial, embora dispersa em diversas linhas de pesquisa existentes nas divisões de Aeronomia, Astrofísica e Geofísica Espacial, nos laboratórios de Plasma e Computação Aplicada e no Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC). Esses diferentes grupos contam individualmente com recursos escassos, sobretudo de ações de Pesquisa e Desenvolvimento, e que são mais destinados à manutenção das atividades em andamento. O projeto proposto vai servir para potencializar essas competências, provocando foco em uma ação e trazendo novos recursos para ampliação e modernização da infra-estrutura de pesquisa.

O projeto prevê a instalação de instrumentos geofísicos em diferentes localidades do território nacional (Campo Grande/MS, Rio Branco/AC, Alto Floresta/MT, Boa Vista/RR, São Luis/MA e Belém/PA). Em todas essas localidades será necessário contar com apoio local para manutenção/operação dos instrumentos, o que possibilita integrar e fomentar o desenvolvimento de atividades de pesquisa em instituições públicas locais. Da mesma forma, o projeto prevê o estabelecimento de núcleos de pesquisa para estudos globais em Santa Maria/RS e para estudos regionais em Natal/RN, o que deve ampliar as atividades do INPE nessas unidades.

Forma de implementação

Inicialmente aproveitar-se-á a infra estrutura já existente no centro regional do INPE que receberá o centro. Dependendo do local escolhido haverá maior ou menos necessidade de investimentos em obras civis e instrumentação fixa, por exemplo antenas. Em seguida a implantação será dedicada à instrumentação e sua operacionalização, calibração etc. Em paralelo poderão ser aproveitadas e transferidas pesquisas em andamento no INPE de São José dos Campos sobre o assunto. É importante mencionar que esta Ação fará uso das redes de pesquisa estimuladas pelo setor de C,T&I nacional, não só internamente ao INPE, com sua sede em São José dos Campos, mas também com outras instituições nacionais e internacionais. Este recurso permitirá uma implantação e operacionalização gradual do centro, sem prejuízo das pesquisas já existentes e sem necessidade imediata da transferência de um grande número de pesquisadores residentes.

x  Direta       Descentralizada

Tipo de orçamento

x  Fiscal       Seguridade social       Investimento das estatais

Base legal

Decreto 68532, de 22/04/1971

Duração da implantação

4 anos

Valor total estimado

R\$ 23.000.000,00 (vinte e três milhões de reais).

Esse valor foi estimado a partir da planilha abaixo (valores em milhares de reais):

	2008	2009	2010	2011	Total
Instalação	5000	5500	6000	6500	23000

Divididos em despesas de custeio e capital, os gastos totais previstos são:

	2008	2009	2010	2011	Total
Capital	4000	4500	4800	5200	18500
Custeio	1000	1000	1200	1300	4500
Total	5000	5500	6000	6500	23000

## 2. Aspectos gerais

Diagnóstico

Clima Espacial pode ser entendido como o conhecimento e predição da resposta do ambiente espacial às contínuas mudanças dos fenômenos solares (atividade solar). Dessa forma, os efeitos do Clima Espacial sobre a Terra são consequência de diversos fatores, os quais incluem o comportamento do Sol, a configuração do campo magnético terrestre, a natureza da atmosfera e a órbita do planeta no sistema solar. Esses efeitos são particularmente importantes na ionosfera (região acima de 80 km de altura permeada de íons e elétrons livres gerados por processos que envolvem a radiação solar e reações subsequentes de recombinação química), a qual se mostra altamente variável e responde de forma distinta a esses agentes controladores, sobretudo na região equatorial brasileira. Nesse caso, o entendimento dos processos eletrodinâmicos e fenômenos associados do sistema termosfera-ionosfera equatorial tem grande impacto sobre o desenvolvimento tecnológico da sociedade atual. Tais fenômenos influenciam fortemente as atividades e os sistemas de aplicações espaciais, causando interferências significativas e até mesmo interrupções nos enlaces ionosférico e trans-ionosférico de telecomunicações (sistema de satélite GPS e aqueles destinados ao sensoriamento remoto por radar), e mesmo em sistemas tecnológicos na superfície da Terra (correntes elétricas induzidas afetando transformadores de linhas de transmissão de energia e a proteção catódica de dutos para transporte de óleo e gás). No ambiente espacial brasileiro tais efeitos são particularmente mais intensos devido à grande extensão territorial do país,

distribuída ao norte e ao sul do equador geomagnético, à declinação geomagnética máxima e à presença da anomalia geomagnética do Atlântico Sul. Na busca de um melhor entendimento sobre os processos eletrodinâmicos e da fenomenologia peculiar da ionosfera equatorial e de baixas latitudes, este projeto objetiva produzir um modelo ionosférico abrangente, o qual reproduza com precisão e confiabilidade as características desses fenômenos. Acoplado com observações experimentais em superfície e no espaço, o sistema proposto vai também permitir que se antecipe a ocorrência de eventos extremos que possam causar impacto significativo em diferentes atividades, a exemplo dos sistemas de monitoramento do Clima Espacial em operação na Europa (<http://www.iono.noa.gr/DIAS/>), Austrália (<http://www.ips.gov.au/>) e Estados Unidos (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.jsp>).

#### Alternativas possíveis de alcance da finalidade

A alternativa possível para o Brasil, em caso de não haver investimento em um sistema de monitoramento e previsão do Clima Espacial, seria utilizar os serviços gerados por órgãos estrangeiros (endereços eletrônicos anteriormente citados). Essa opção acarretaria custos elevados e não traria especificidade em relação aos fenômenos típicos da região brasileira (irregularidades de plasma da região equatorial, anomalia magnética do Atlântico Sul), uma vez que aqueles sistemas de previsão concentram-se em latitudes médias e altas, não mapeando os efeitos das regiões equatoriais.

#### Alternativa selecionada

A alternativa proposta é a de montar o Sistema Científico Brasileiro de Previsão e Monitoramento do Clima Espacial, capaz de realizar monitoramento e previsão do Clima Espacial de maneira autônoma, atendendo às necessidades regionais (fenômenos da ionosfera equatorial e anomalia magnética do Atlântico Sul) de maneira eficiente..

#### Similaridade com outros projetos

Não se tem conhecimento de outro projeto no país com objetivos similares.

#### Sinergia e antagonismo com outros projetos

Este projeto se baseia em capacidade já existente no INPE para estudos sobre o Clima Espacial, embora dispersa em diversas linhas de pesquisa existentes nas divisões de Aeronômica, Astrofísica e Geofísica Espacial, nos laboratórios de Plasma e Computação Aplicada e no Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC). Esses diferentes grupos contam individualmente com recursos escassos, sobretudo de ações de Pesquisa e Desenvolvimento, e que são mais destinados à manutenção das atividades em andamento. O projeto proposto vai servir para potencializar essas competências, provocando foco em uma ação e trazendo novos recursos para ampliação e modernização da infra-estrutura de pesquisa.

#### Integração com projetos estaduais e municipais

O projeto prevê a instalação de instrumentos geofísicos em diferentes localidades do território

nacional (Campo Grande/MS, Rio Branco/AC, Alto Floresta/MT, Boa Vista/RR, São Luis/MA e Belém/PA). Em todas essas localidades será necessário contar com apoio local para manutenção/operação dos instrumentos, o que possibilita integrar e fomentar o desenvolvimento de atividades de pesquisa em instituições públicas locais. Da mesma forma, o projeto prevê o estabelecimento de núcleos de pesquisa para estudos globais em Santa Maria/RS e para estudos regionais em Natal/RN, o que deve ampliar as atividades do INPE nessas unidades.

### **3. Aspectos técnicos**

#### Cronograma de execução física

- Ano 1 – Seleção do local de implantação e projeto.
- Ano 2 – Obras civis
- Ano 3 – Implantação da instrumentação e sua calibração
- Ano 4 – Operacionalização do centro.

#### Escopo técnico

##### a) Descrição técnica do projeto

O conhecimento sobre o Clima Espacial está hoje em posição semelhante à que se encontrava a Meteorologia no início do Século XX. Porém, em uma sociedade cada vez mais dependente de serviços espaciais (como, por exemplo, GPS e satélites em geral), os quais são vulneráveis aos distúrbios solares, o estudo e a capacidade de previsão do Clima Espacial será fundamental em um futuro próximo para o desenvolvimento autônomo de um país como o Brasil. Para realizar esses estudos, é crucial que se disponha de uma rede de experimentos em superfície, com ampla cobertura longitudinal, destinada a monitorar em alta resolução e continuamente o regime da atmosfera superior e ionosfera em nossa região. Também, medidas originárias de futuros satélites científicos serão essenciais para integrar todas as informações. Em adendo à coleta de dados, a modelagem matemática dos processos interativos Sol-Terra vai ser essencial para almejar propósitos práticos, tais como previsões do Clima Espacial e diagnósticos de seus efeitos sobre diferentes sistemas tecnológicos.

O Sistema Científico Brasileiro de Previsão e Monitoramento do Clima Espacial será constituído por duas grandes áreas de atuação, as quais são fortemente interdependentes: uma área global e uma área regional. A área global terá como finalidade o diagnóstico de fenômenos da atividade solar, seus efeitos no espaço interplanetário entre o Sol e a Terra (meio interplanetário), e os efeitos desses dois no espaço vizinho à Terra. Vai utilizar dados de missões espaciais internacionais capazes de produzir imagens de sensoriamento remoto do Sol (SOHO, STEREO) e observações in-situ do espaço interplanetário e da magnetosfera da Terra (ACE e CLUSTER), além de dados de superfície coletados por telescópios de observação solar e telescópios de observação de raios cósmicos (alguns já existentes e outros a serem instalados neste projeto). No futuro, prevê-se utilizar também dados do satélite brasileiro MCE (monitor do clima espacial) e de antenas para rastreamento do espaço profundo. O núcleo para processamento e modelagem dos dados dessa área global deverá ser instalado no



Centro Regional Sul do INPE, situado em Santa Maria/RS, e os principais produtos serão diagnósticos e previsões das condições do geoespaço vizinho à Terra (previsão do instante de ocorrência de distúrbios geomagnéticos com antecedência em tempo útil, previsão de intensidade, diagnóstico de eventos severos, etc.). Esses resultados serão utilizados como parâmetros de entrada para os estudos e modelos de variabilidade do Clima Espacial Regional (região brasileira).

O aspecto regional terá como finalidade o estudo e a modelagem da variabilidade do Clima Espacial a partir das especificidades da região brasileira. Deve incluir modelagem da atmosfera neutra superior, monitoramento e modelagem da ionosfera equatorial (detalhando irregularidades ionosféricas e seus efeitos na transmissão de ondas eletromagnéticas), monitoramento e modelagem dos efeitos das propriedades físico-químicas da Terra, das variações do campo geomagnético e dos efeitos das correntes ionosféricas do Eletrojato Equatorial nessa região. Utilizará dados de sondas ionosféricas, radares e magnetômetros a serem instalados preferencialmente na região Norte do Brasil, os quais serão integrados a estações já existentes e a satélites de baixa altitude focados na região equatorial (EQUARS). Essa infra-estrutura vai formar uma rede única, capaz de monitorar o comportamento da ionosfera, e que será utilizada para desenvolver metodologias e modelos que possam levar à previsão do “clima ionosférico” sobre o território brasileiro, fonte de problemas em diversos sistemas tecnológicos na superfície e no espaço, como por exemplo nos sistemas de operação e navegação de aeronaves a partir de satélites. Prevê-se instalar o núcleo para processamento e modelagem dos dados da região equatorial brasileira no Centro Regional Nordeste do INPE, situado em Natal/RN.

Os núcleos global (Santa Maria/RS) e regional (Natal/RN) vão atuar em sinergia com as equipes já existentes em São Jose dos Campos/SP, a fim de construir um sistema nacional integrado de Clima Espacial, a exemplo do que ocorre nos centros anteriormente citados dos Estados Unidos, Europa e Austrália. Esse centro nacional vai ter capacidade não apenas para diagnósticos e previsões globais, mas principalmente para diagnósticos e previsões que atendam às especificidades da região brasileira.

b) Alternativas técnicas avaliadas para implantação do projeto  
(inclusive a fim de minimizar os impactos ambientais)

Para minimizar custos, a quantidade e a distribuição das estações a serem instaladas em superfície foram planejadas considerando a infra-estrutura hoje existente para pesquisas na região equatorial da área de Ciências Espaciais e Atmosféricas do INPE. Também, a proposta busca aproveitar a competência científica dispersa pelo INPE para otimizar o uso de recursos humanos qualificados, embora contratações sejam necessárias especialmente para fortalecer os núcleos de Santa Maria e Natal. Os equipamentos científicos utilizados não produzem impactos ambientais.

c) Processo de produção

O projeto busca monitorar e modelar o Clima Espacial, em âmbito global e regional, com o objetivo de diagnosticar e prever a ocorrência de distúrbios geomagnéticos intensos. A seqüência de atividades a serem desenvolvidas após a implantação da infra-estrutura instrumental inclui:

i) modelagem de eventos solares (regiões ativas e ejeções de massa coronal) e da interação do vento solar com a magnetosfera da Terra. Vai constituir da adaptação, aplicação ou desenvolvimento de modelos de plasma espacial para melhor entender aspectos físicos da fenomenologia do Clima Espacial Global.

ii) diagnóstico e previsão da ocorrência de distúrbios geomagnéticos globais. Vai se disponibilizar um boletim de alerta para ocorrência de possíveis distúrbios geomagnéticos em 3 níveis diferentes de antecedência e precisão: (1) previsão baseada em observações solares (dados dos satélites SOHO e STEREO), com antecedência de 1 a 3 dias e erro da ordem de 1 dia; (2) previsão baseada em observações da modulação de raios cósmicos (telescópio de muons e detector de nêutrons), com antecedência de até 10 horas e erro inferior a 1 hora; (3) previsão baseada em observações do meio interplanetário (com dados do satélite ACE), com antecedência de 40 minutos e erro inferior a 1 minuto, fornecendo o instante da ocorrência e a intensidade do evento (tempestade geomagnética).

iii) modelagem de processos físico-químicos e dinâmicos da atmosfera neutra, necessário para estabelecer os efeitos da baixa atmosfera sobre o Clima Espacial.

iv) diagnóstico e modelagem da ionosfera equatorial na região brasileira, com o desenvolvimento de modelos de circulação geral que incluam um esquema aeronômico autoconsistente para um sistema termosférico/ionosférico acoplado.

v) disponibilizar na internet (em tempo 'quase-real') dados da cintilação da amplitude do sinal de GPS. Esses dados são úteis para os sistemas de posicionamento e navegação por GPS e para a previsão da ocorrência das bolhas ionosféricas.

vi) monitorar correntes elétricas no interior da Terra, induzidas por variações no campo geomagnético, e definir áreas críticas em função de efeitos sobre linhas de transmissão de energia e dutos para transporte de óleo e gás, a partir de levantamentos da condutividade elétrica do solo.

#### d) Vida útil estimada para o empreendimento

A experiência previa com instrumentos científicos similares àqueles a serem usados neste projeto mostra que sua vida útil pode ser superior a 10 anos. Observe-se porém que recursos para manutenção dos equipamentos devem estar disponíveis. Outro aspecto refere-se ao avanço das técnicas de observação, o que deve levar à necessidade de modernização do sistema ao final desse período de 10 anos.

#### Oferta e demanda atual e futura

A demanda atual tem sido esporádica, através de contatos individuais com pesquisadores que dispõem de informações pontuais através de seus experimentos científicos. Em alguns casos, empresas financiam levantamentos para avaliar efeitos do Clima Espacial em sistemas localizados. Com a disponibilidade dos produtos gerados por este projeto essa demanda tende a crescer significativamente, pois as informações a serem disponibilizadas podem contribuir para uma performance contínua e confiável de aplicações que usam a propagação de radio e são afetadas pelo Clima Espacial. Em particular, os distúrbios ionosféricos afetam

principalmente os sistemas de comunicação e navegação na banda VLF-LF, comunicações na banda HF, emissoras de radio na banda HF, diferentes tipos de radares, satélites de comunicação e navegação, linhas de transmissão de energia, dutos de transporte de óleo e gás. Considerando esse vasto intervalo de aplicações influenciadas pelos efeitos ionosféricos, a comunidade de usuários potenciais é bastante extensa. Inclui a área de defesa, a aviação civil e militar, operadoras de radiodifusão, pesquisadores da atmosfera superior, operadores de radioamadores, empresas de transmissão de energia elétrica e de produção e transporte de petróleo e seus derivados.

#### 4. Análise financeira

##### Gastos com implantação

O projeto vai constar de 3 fases: (1) montagem de infra-estrutura para detecção de efeitos globais; (2) montagem de infra-estrutura para detecção de efeitos regionais; (3) montagem de sistema de processamento e modelagem dos dados. Para cálculo dos montantes envolvidos são considerados os valores disponíveis para aquisição dos instrumentos (capital) e despesas assessorias com importação (custeio). Para os valores referentes à etapa de instalação (capital e custeio) considerou-se a experiência prévia dos grupos do INPE com equipamentos similares. No total os gastos com implantação da rede vão totalizar 23 milhões de reais no período de 4 anos. A tabela a seguir discrimina os gastos durante o período de duração do projeto (valores em milhares de reais):

		2008	2009	2010	2011	Total
Fase 1	Equipamentos	1000	1000	1000		3000
	Despesas assessorias	250	250	250		750
	Instalação		100	250		350
Fase 2	Equipamentos	2200	2200	3000	4400	11800
	Despesas assessorias	550	550	750	1100	2950
	Instalação		300	750	1000	2050
Fase 3	Equipamentos	1000	1000			2000
	Despesas assessorias					
	Instalação		100			100
Total		5000	5500	6000	6500	23000

Divididos em despesas de custeio e capital, os gastos previstos com instalação são:

	2008	2009	2010	2011	Total
Capital	4000	4500	4800	5200	18500
Custeio	1000	1000	1200	1300	4500
Total	5000	5500	6000	6500	23000

##### Financiamento externo

R\$ 2.000/ano nos primeiros 4 anos

#### Gastos com operação

Os gastos com operação também foram estimados a partir da experiência prévia dos grupos do INPE com equipamentos similares. No total os gastos com operação da rede vão totalizar 3 milhões de reais (em custeio) no período de 4 anos. A tabela a seguir discrimina os gastos (valores em milhares de reais):

	2008	2009	2010	2011 - 2017	Total
Operação (custeio)		500	1000	1500/ano	12000

#### Receita

R\$ (não aplicável)

### **5. Análise socioeconômica**

#### Gastos com implantação a preços sociais

R\$ não há

#### Gastos com operação a preços sociais

R\$ não há

#### Melhorias associadas

R\$ 3.500/ano (estimado com base na injeção de parte – de 50 a 70%, de recursos oriundos de novos salários e despesas de custeio na economia local/regional na área do setor de influência do empreendimento) por um período de 10 anos

#### Receita líquida

R\$ 3.500/ano por 10 anos, conforme acima

### **6. Análise ambiental**

#### Danos ambientais

A implantação dar-se-á em área do INPE, em um de seus centros regionais. Por ser pouco demandante em novas construções serão aproveitadas áreas já existentes sem necessidade de desmatamento. A implantação e operação da instrumentação (antenas, computadores etc) não produz CO<sub>2</sub>, não utiliza recursos hídricos específicos (além dos usuais em operação de laboratórios para limpeza etc) e não produz efeito em ecossistema ou bacia hidrográfica, e sem modificação substancial no uso ou ocupação do solo. Esgotos e resíduos produzidos serão de pouca monta sem necessidade de aterros ou previsão de assoreamento.

#### Mitigações ambientais

Próprias para o aumento de ocupação humana do terreno, mas em pequena monta: tratamento de esgoto e captação de água, sem necessidade de reflorestamento (não há desflorestamento previsto)

#### Passivo ambiental líquido

Nulo
------

### **7. Análise de custo-benefício**

#### Fluxo de caixa socioeconômico

Positivo, sem despesas, constante por 10 anos – R\$ 3.500/ano

#### Valor presente líquido

R\$ 27.025 (i=5% aa)
----------------------

#### Relação benefício/custo

Não aplicável
---------------

#### Taxa interna de retorno

% (não aplicável – não há despesas)
-------------------------------------

#### Tempo de recuperação dos custos

1 ano (análise sócio econômica)
---------------------------------

#### Análise de sensibilidade

Não aplicável – não há receitas financeiras ou custos sócio econômicos (as receitas sócio econômicas não possuem o fator de risco abaixo)

### Riscos do projeto

O principal risco seria uma alta variação cambial, pois os equipamentos previstos para serem comprados são, em sua grande maioria, através de importação