

## **Os satélites meteorológicos de nova geração e suas contribuições para as previsões de tempo e clima**

Regina Célia dos Santos Alvalá<sup>1</sup>

Luis Augusto Toledo Machado<sup>2</sup>

Luciana Rossato<sup>1</sup>

Sérgio de Paula Pereira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Av. dos Astronautas, 1758 – Caixa Postal 515  
12201-970 – São José dos Campos, SP, Brasil  
{regina, rossato}@cptec.inpe.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Rodovia Presidente Dutra km 39, 1758  
12630-000 – Cachoeira Paulista, SP, Brasil  
machado@cptec.inpe.br

**Resumo.** Os satélites meteorológicos em órbita na Terra, os quais transportam a bordo sofisticados e sensíveis instrumentos capazes de detecção e medição da radiação emitida ou refletida por alvos existentes em terra, nos oceanos, ou pelas nuvens e camadas da atmosfera, tem propiciado uma vasta gama de dados e informações relacionados ao meio ambiente. Outrossim, os satélites meteorológicos provêm dados para diversas finalidades e objetivos, desde a pesquisa pura, passando pela pesquisa aplicada, e se consolidando em aplicações específicas que cada vez mais promovem uma maior conscientização da sociedade com relação aos parâmetros que representam ou afetam de forma mais significativa o comportamento do meio ambiente do planeta. Assim sendo, o objetivo deste documento é destacar os principais satélites ambientais de nova geração relacionados ao campo da Meteorologia, cujos dados providos subsidiam as previsões meteorológicas de tempo e de clima.

**Palavras-chave:** Satélites meteorológicos, radiação, previsão de tempo, previsão de clima.

**Abstract.** The meteorological satellites in orbit of the Earth, which on board carries sophisticated and sensible capable instruments from detection emitted or reflected radiation measurement for targets in land, oceans, or for clouds and layers of the atmosphere, have propitiated a vast gamma of data and information related to the environment. Moreover, they have acquired a great importance for diverse purposes and objectives, since the pure research, passing for the applied research, and if consolidating in specific applications that each time more promote a bigger awareness of the society with regard to the parameters that represent or affect of more significant form the behavior of the environment of the planet. Thus, the objective of this text is to highlight the main ambient satellites related to the field of Meteorology and its new generation, which data provided are useful in weather and climate predictions.

**Key-words:** meteorological satellites, radiation, weather prediction, climate prediction.

## 1. Introdução

Nas últimas décadas, os satélites meteorológicos têm sido ferramentas de grande utilidade para as previsões de tempo e de clima, os quais permitem a observação de fenômenos e medições de parâmetros físicos para uma melhor compreensão e quantificação de fenômenos meteorológicos, principalmente pela sua resolução temporal, a qual permite coletar informações em diferentes épocas do ano e em anos distintos, e espacial, a qual possibilita obter informações em diferentes escalas (desde as regionais até as locais). Por essa razão, novos satélites são lançados a cada ano, seja para a reposição daqueles satélites operacionais que estão no limite de sua vida útil ou para o aprimoramento das pesquisas a partir de novas observações.

Com o intuito de atender a demanda por informações de satélites meteorológicos por parte dos setores produtivos, de energia e de transportes, em 1967, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) instalou a primeira estação de recepção de imagens de satélites meteorológicos do Brasil. Desde então vem desenvolvendo pesquisas sobre as inovações tecnológicas que assegurem uma posição privilegiada do país entre as nações de tecnologia mais avançada na área de meteorologia por satélites. A partir de 13 de novembro de 2000, a Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), originalmente vinculada à Gerência do Centro Espacial de Cachoeira Paulista (CES), passou a integrar a Coordenadoria Geral do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE. Conforme ressaltado em Souza et al., (2005), as atividades da DSA se destinam à geração de informações meteorológicas utilizadas no monitoramento de tempo e de clima e na assimilação em modelos de previsão numérica do CPTEC. Além de pesquisas técnicas para extração de informações a partir de dados transmitidos por satélites meteorológicos, a DSA vem desenvolvendo pesquisas aplicadas, bem como o acompanhamento de novas missões de satélites ambientais visando atualização permanente no uso de novos sensores e na análise de oportunidades em missões nacionais e estrangeiras. Como atividade de suporte e transferência de conhecimento, elabora aplicativos para tratamento de imagens, disponibiliza dados de satélites para setores operacionais e oferece treinamento na área. Atualmente, também responde pela recepção e difusão de dados de uma rede de estações meteorológicas e hidrológicas automáticas, que transmite informação via satélite, e pela pesquisa/desenvolvimento/implantação de produtos meteorológicos associados derivados de sensores remotos e difusão desses produtos. Os produtos desenvolvidos na DSA são divulgados aos meios de comunicação e à sociedade em geral. Como decorrência, contribuem tanto para fortalecer a autonomia nacional no domínio de técnicas espaciais de observação do meio ambiente, como para fornecer um serviço de utilidade pública.

Segundo Souza et al. (2005), os produtos gerados operacionalmente no escopo da DSA resultam do trabalho realizado em três linhas de pesquisa, isto é, Radiação no Sistema Terra-Atmosfera, Teledetecção da Atmosfera e Teledetecção da Superfície. A primeira se dedica ao

estudo de fenômenos radiativos e é fundamental para apoio conceitual e numérico às outras linhas de pesquisa. A partir do estudo da intensidade da radiação emergente do planeta e de suas características espectrais é possível avaliar propriedades atmosféricas, tais como a distribuição vertical de temperatura e de umidade, a concentração de gases e aerossóis, os tipos e propriedades de nuvens, o estado e fluxos radiativos à superfície. A segunda se dedica à pesquisa e ao desenvolvimento de métodos de detecção satelital para gerar ferramentas para monitoramento da atmosfera em tempo real, com produção de dados para assimilação em modelos de previsão numérica e para uso imediato em defesa civil, gerenciamento de bacias hidrográficas, geração e distribuição de energia elétrica, entre outros. A linha Teledetecção da Superfície se concentra no monitoramento de fenômenos ambientais naturais (temperatura continental e do mar; estado da vegetação natural, umidade do solo, dentre outros) e antropogênicos (queimadas, desmatamento) de impacto direto em áreas como defesa civil, agricultura, pesca e gerenciamento de recursos hídricos. Estes dados também são de grande valor para a avaliação da interação superfície-atmosfera, sendo assimilados em modelos de previsão numérica de tempo e de clima. Estas atividades de pesquisa e de desenvolvimento envolvem cooperação com grupos de pesquisa de diversas instituições no Brasil, como por exemplo com o IAE/CTA, IAG/USP, IRD/França, UNESP/ Presidente Prudente, Instituto Nacional de Águas da Argentina, EMBRAPA/Unicamp, dentre outras.

A DSA disponibiliza uma série de produtos meteorológicos operacionais, tais como radiação solar e terrestre, índice ultravioleta, classificação de nuvens, queimadas, índice de vegetação, temperatura da superfície do mar, coleta de dados, sondagens atmosféricas, sistema convectivo e tempestades, precipitação, nevoeiro, vento, temperatura de brilho e produtos do espectro-radiômetro imageador de moderada resolução (MODIS), os quais podem ser acessados através do portal da DSA (<http://satelite.cptec.inpe.br>).

Assim, considerando a diversidade de produtos meteorológicos gerados a partir de informações de satélites, apresenta-se, neste documento, uma descrição mais detalhada dos principais satélites ambientais, relacionados particularmente ao campo da Meteorologia, inclusive os de última geração, cujas informações subsidiam previsões de tempo e clima.

## **2. Satélites Meteorológicos**

### **2.1. Satélite GOES**

Os satélites ambientais operacionais geostacionários GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) possibilitam o monitoramento contínuo necessário para a análise intensiva de dados sobre a terra, oceanos, nuvens e camadas da atmosfera. Eles circulam em torno da Terra em uma órbita geossíncrona, isto é, eles orbitam no plano equatorial da Terra, a uma velocidade que se ajusta à sua rotação, o que permite que eles flutuem continuamente sobre uma mesma região da superfície terrestre. Os satélites se posicionam a uma altura aproximada de 36.000 km, que é suficientemente distante para permitir ao satélite uma visão do disco completo. Uma vez que estes satélites permanecem estacionados sobre um mesmo alvo na superfície, é possível obter um monitoramento constante do comportamento da atmosfera naquela região, fornecendo assim parâmetros para acompanhamento e análise de diversos fenômenos atmosféricos e ambientais, tais como tornados, enchentes, chuvas torrenciais, permitindo-se rastrear seus movimentos. Eles também são usados para estimar os níveis de precipitação durante tempestades e furacões, permitindo o envio de alertas de enchentes. São também usados para estimar acumulação de neve e a extensão da cobertura de neve e prover informações para mapear deslocamentos de gelo nos oceanos. Dados destes satélites também auxiliam meteorologistas a emitirem alertas contra geadas ou secas prolongadas (Pereira, 2005).

Os Estados Unidos operam normalmente dois satélites meteorológicos em órbita geoestacionária, sobre o plano do equador, posicionados em 75° W (GOES 12; GOES EAST) de longitude e em 135° W de longitude (GOES 10; GOES WEST). Estes operam de forma conjunta e produzem fotos completas da face da Terra que se estendem aproximadamente desde 20° W de longitude até 165° W de longitude. Possuem 6 canais na região do visível: canal 1 (0,55 a 0,75µm) com resolução de 1km; canal 2 (3,9 µm) com resolução de 4 km; canal 3 (6,7 ou 6,5 µm) com resolução de 8 km ou 4 km; canal 4 (10,7 µm) e canal 5 (12,0 µm; ausente no GOES-12) com resolução de 4 km; canal 6 (13,3 µm, somente no GOES-12) com resolução de 8 km.

A principal missão destes satélites é realizada a partir de dois instrumentos primários: o Imageador e o Sondador. O imageador é um instrumento multicanal que detecta a energia solar radiante e refletida proveniente da superfície da Terra e da sua atmosfera, enquanto o sondador fornece dados para determinar os perfis verticais de temperatura e umidade da atmosfera, temperatura da superfície e as temperaturas de topo de nuvens, e a distribuição de ozônio.

Os satélites GOES incluem três outros instrumentos a bordo, o *transponder* de busca e salvamento (search and rescue instrument); um sistema de coleta e retransmissão de dados ("Data Collecting System" - DCS); e um monitor do ambiente espacial (space environment monitor). Este último consiste em um magnetômetro, um sensor de raios-X, um detector de partículas alfa e de prótons de alta energia, e um sensor de partículas de alta energia. Todas esses dados são utilizados para monitorar o ambiente espacial próximo da Terra e a atividade solar. O Satélite GOES 12, em operação desde 1º de abril de 2003, também transporta um Imageador Solar de Raios-X (solar-X ray imager - SXI)

## 2.2. Satélites METEOSAT

A série METEOSAT (Meteorological Satellite), que iniciou em 1977 como uma iniciativa da Agência Espacial Européia é atualmente mantida pela EUMETSAT (Europe's Meteorological Satellite Organization), uma organização intergovernamental que agrega dezoito países europeus. Em setembro de 1997 foi lançado o sétimo satélite da série (METEOSAT-7), o qual, por se um satélite geoestacionário (em órbita de 36.000 km de altitude), imageia 42% da Terra.

O instrumento sensor primário do METEOSAT é o radiômetro de varredura e rotação no visível e no infravermelho (VISSR - Visible and Infrared Spin Scan Radiometer), que é sensível à radiação visível e termal, em diferentes bandas do espectro. O radiômetro varre a superfície da Terra, linha por linha, e cada linha consiste de uma série de elementos de resolução ou pixels. Para cada pixel, o radiômetro mede a energia radiativa de uma determinada banda espectral. Esta medição é digitalmente codificada e transmitida para a estação terrena.

O canal visível (na banda espectral de 0,5 a 0,9 µm) varre 5.000 linhas, cada linha consistindo de 5.000 pixels. O canal infravermelho (10,5 a 12,5 µm) varre 2.500 linhas, cada linha consistindo de 2.500 pixels. Isso resulta em uma resolução de 2,5 km e 5,0 km, respectivamente, no ponto subsatélite. Devido à curvatura da Terra, esta resolução degrada em direção às bordas mais externas da imagem (por exemplo, a resolução para o visível torna-se aproximadamente de 4,5 km sobre a Europa).

O satélite METEOSAT também é usado como um satélite de telecomunicações para dados meteorológicos. Depois da recepção e processamento em terra dos dados brutos, os dados processados de imagens são retransmitidos via METEOSAT e podem ser recebidos por uma estação terrena de um usuário. Outros canais de comunicação a bordo do

METEOSAT são usados para a transmissão de dados meteorológicos convencionais, como por exemplo, as cartas de tempo (MDD).

Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) são utilizadas, sobretudo, em regiões remotas e distantes para a obtenção de dados sobre o tempo e outros dados ambientais relacionados à Terra e a seus fenômenos naturais, como dados meteorológicos e oceanográficos. Dentro da missão DCP do METEOSAT, estes dados são transmitidos via METEOSAT. O satélite pode coletar mensagens de (PCDs) de no máximo 60 segundos de duração, em um total de 66 canais, com as PCDs operando em 402MHz.

Em agosto de 2002 foi lançado o "METEOSAT Second Generation – MSG-1 (Meteosat-8)", que permite obter imagens em mais comprimentos de onda e em intervalos mais curtos que os dos satélites anteriores, o que o torna particularmente adequado para previsões de curto prazo de fenômenos meteorológicos como neve, trovoadas e nevoeiro. Os dados gerados pelos seus 12 canais espectrais fornecem 20 vezes mais informações do que os seus antecessores. Em dezembro de 2005 foi lançado o MSG-2, o qual, juntamente com o MSG-1, enviam imagens meteorológicas de 15 em 15 minutos (em vez de 30 em 30 minutos, como acontecia com os satélites Meteosat da primeira geração) em 12 canais espectrais (em vez de 3), com resolução espacial no visível de 1 km, e fornecem dados essenciais para uma série de aplicações no âmbito da previsão das condições meteorológicas e para monitoramento do clima e do ambiente. O MSG carrega a bordo novos radiômetros: o imageador de alta rotação no visível e infravermelho (SEVERI - Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) e o radiômetro geostacionário de saldo de radiação da terra (Geostationary Earth Radiation Budget – GERB).

Ressalta-se que o CPTEC/INPE está recebendo as imagens e dados do satélite METEOSAT-8 desde junho de 2006, o que possibilitará avanços na pesquisa, previsões e monitoramentos meteorológicos do Brasil, em especial aos relacionados ao Nordeste, à costa brasileira e ao Atlântico Sul. A cobertura privilegiada deste satélite à porção tropical e equatorial do Atlântico Sul favorece o acompanhamento de sistemas meteorológicos que influenciam o tempo e o clima do Nordeste. A possibilidade de se gerar cartas da temperatura da superfície do mar, informações do vigor da vegetação, da instabilidade atmosférica e da quantidade de aerossóis são algumas das principais inovações, além da recepção de novas imagens com resolução temporal maior (a cada 15 minutos).

### **2.3. Satélites NOAA**

Os satélites de órbita quase-polar, denominados satélite de observação avançada no infravermelho (Advanced Television Infrared Observation Satellite - TIROS-N) - hoje renomeados como satélites da série da Agência Nacional de Administração Atmosférica e Oceânica (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) - circulam constantemente a Terra numa órbita muito próxima da direção norte-sul, passando próximo de ambos os pólos. As órbitas são circulares, com uma altitude entre 830 km (órbita da manhã) e 870 km (órbita da tarde), e são síncronas com o Sol. A órbita da manhã cruza o Equador às 07:30 (horário local) enquanto a órbita da tarde cruza às 13:40 (horário local). As órbitas circulares permitem uma aquisição uniforme de dados pelo satélite e um controle eficiente do satélite em órbita pelas Estações de Comando da NASA.

Os satélites quase-polares são capazes de monitorar toda a Terra, registrando variáveis atmosféricas e fornecendo dados ambientais e atmosféricos e imagens de nuvens. Eles podem acompanhar condições atmosféricas que afetam o tempo e o clima dos diversos países. Os satélites fornecem dados de radiômetro nas faixas do visível e do infravermelho que são usados para a finalidade de criação de imagens, medições de radiação, e determinação de perfis de temperatura e de umidade. Os sensores do ultravioleta também fornecem os níveis

de ozônio na atmosfera e são capazes de detectar o “buraco de ozônio” sobre a Antártida. Estas informações são também utilizadas nos modelos de previsão do tempo, especialmente para remotas áreas oceânicas, onde dados convencionais não existem.

A Agência Americana NOAA opera cinco satélites de órbita polar: NOAA-12, NOAA-14, NOAA-15, NOAA-16 e NOAA 17. Os chamados satélites da série NOAA K, L, M, possuem sensores mais aperfeiçoados, e iniciou-se com o lançamento do NOAA-15 em maio de 1998, seguido do NOAA-16 em 21 de setembro de 2000; e do satélite mais recente, NOAA-17, lançado em 24 de junho de 2002. Os sensores a bordo do satélite NOAA, AVHRR/3, HIRS/3, AMSU-A, AMSU-B são descritos a seguir.

### **2.3.1. AVHRR**

O radiômetro avançado de muito alta resolução (Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR) é um imageador detector de radiação que pode ser usado para determinar remotamente a cobertura das nuvens e a temperatura da superfície (superfície terrestre, superfície das camadas superiores das nuvens, ou a superfície de um corpo d'água) e a radiação refletida pelo terreno. Esse radiômetro “scanner” usa 6 detectores, que coletam diferentes bandas de radiação:

Canal 1 (0.58 - 0.68  $\mu\text{m}$ ): Mapeamento da superfície e das nuvens, durante o dia; índice de vegetação;

Canal 2 (0.725 - 1.00 $\mu\text{m}$ ) : Mapeamento das fronteiras terra-água; índice de vegetação;

Canal 3A (1.58 - 1.64  $\mu\text{m}$ ): Detecção de neve e gelo;

Canal 3B (3.55 - 3.93  $\mu\text{m}$ ): Mapeamento noturno de nuvens, monitoramento da temperatura da superfície do mar, detecção de queimadas;

Canal 4 (10.30 - 11.30  $\mu\text{m}$ ): Mapeamento noturno de nuvens, monitoramento da temperatura da superfície do mar;

Canal 5 (11.50 - 12.50  $\mu\text{m}$ ): Mapeamento noturno de nuvens, monitoramento da temperatura da superfície do mar.

O AVHRR/3, versão mais recente do AVHRR, com 6 canais, foi primeiro transportado pelo NOAA-15, o qual foi lançado em maio de 1998. O Instrumento AVHRR/3 pesa aproximadamente 33 kg, mede 29cm x 36cm x 80cm e consome 28.5 watts de potência.

### **2.3.2. HIRS**

O sondador de radiação no infravermelho de alta resolução (High Resolution Infrared Radiation Sounder - HIRS) é um instrumento de varredura de linha transversal (“scanner”), que utiliza um espelho varredor que se move em passos ou incrementos discretos. Este instrumento foi projetado para medir energia radiante proveniente da Terra e de sua atmosfera, em comprimentos de onda acima de 6,5  $\mu\text{m}$  até 15,00  $\mu\text{m}$  (onda longa) e em comprimentos de onda entre o visível (0.69  $\mu\text{m}$ ) e 4.6  $\mu\text{m}$  (onda curta), através da utilização de 20 diferentes bandas espectrais. Este instrumento tem a função de calcular o perfil de temperatura vertical desde a superfície da Terra até uma altura de aproximadamente 40 km.

As bandas espectrais estão assim distribuídas: 1 canal visível, em torno de 0,69  $\mu\text{m}$ ; 7 canais no infravermelho (onda curta), entre 3,7  $\mu\text{m}$  a 4,6  $\mu\text{m}$ ; e 12 canais no infravermelho (onda longa), entre 6,5 e 15,00  $\mu\text{m}$ .

### **2.3.3. AMSU-A**

O sondador avançado de microondas (Advanced Microwave Sounding Unit-A - AMSU-A) é um instrumento de varredura de linha transversal (“scanner”), implementado em dois módulos separados (AMSU-A1 e o AMSU-A2) e projetado para medir radiancias da cena imageada,

proveniente da Terra e de sua atmosfera, em 15 canais discretos de frequência na faixa de microondas, que permitem o cálculo do perfil vertical de temperatura desde a superfície terrestre até uma altitude aproximada de 45 km. O AMSU-A consiste em um radiômetro de microondas, multicanal, o qual é utilizado para medir perfis globais atmosféricos de temperatura e fornece informação sobre o conteúdo de água na atmosfera em todas as suas formas (com exceção de finas partículas de gelo, que são transparentes para as frequências de microondas).

No módulo AMSU-A2 realiza-se a recepção dos canais 1 e 2 (23,8 e 31,4 GHz, respectivamente), enquanto no módulo AMSU-A1 realiza-se a recepção das frequências dos canais 3 a 9 (desde 50,3 até 57,3 GHz), canal 10 (217 MHz), canais 11 a 14 (322,2 MHz) e canal 15 (89 GHz). O módulo AMSU-A1 consiste de 12 canais banda-V (canal 3 a canal 14) e um canal banda-W (canal 15). Este módulo fornece um completo e preciso perfil de temperatura vertical da atmosfera desde a superfície da Terra até a altura de aproximadamente 45 km.

O módulo AMSU-A2 contém as duas mais baixas frequências (canal 1 e 2). Este módulo é utilizado para estudar o conteúdo de água na atmosfera em todas as suas formas, exceto a de pequenas partículas de gelo.

#### **2.3.4. AMSU-B**

O sondador avançado de microondas - B (Advanced Microwave Sounding Unit-B - AMSU-B) é um radiômetro de microondas de 5 (cinco) canais, projetado para receber e medir radiação proveniente de um número de diferentes camadas da atmosfera, a fim de obter dados globais para derivação de perfis de umidade. O AMSU-B opera em conjunto com o sondador AMSU-A, para completar um radiômetro de microondas de 20 canais, com o AMSU-B cobrindo os canais de 16 a 20. Os canais de mais alta frequência (18, 19 e 20) cobrem a linha fortemente opaca de absorção do vapor d'água em torno de 183 GHz e fornecem dados para o cálculo do nível de umidade da atmosfera. Os canais 16 e 17, em 89 GHz e 150 GHz, respectivamente, permitem uma penetração mais profunda através da atmosfera até a superfície da Terra.

#### **2.4. Satélite TRMM**

O satélite da missão de medida da chuva tropical (Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM), lançado em 1997, é utilizado para medir a precipitação e a sua variação na região tropical. Este satélite está localizado numa órbita de baixa inclinação ( $35^{\circ}$ ), à altitude de 350 km.

Os objetivos do TRMM são medir a precipitação e a troca de energia (calor latente de condensação) entre as regiões tropical e subtropical, tendo em vista que grande parte destas regiões é coberta por oceanos (75%) e áreas inóspitas, com florestas e desertos. Calcula-se que três quartos do calor (energia) da atmosfera são obtidos através do calor latente associado com a precipitação, e estima-se que dois terços da precipitação global observada está localizada na região tropical, o que demonstra a importância destes parâmetros.

Os principais sensores a bordo do TRMM relacionados com a precipitação são o imageador de microondas (TMI - TRMM Microwave Imager); o radar de precipitação (PR - Precipitation Radar) e o sistema de radiômetro visível e infravermelho (VIRS - Visible and Infrared Radiometer System). Além destes, tem-se o sensor do sistema de energia radiante das nuvens e da terra (CERES - Clouds and Earth's Radiant Energy System), o qual opera no visível e no infravermelho e foi projetado para medir energia emitida e refletida da superfície da Terra e da atmosfera, além de seus constituintes (nuvens e aerossóis) e o sistema de

imageamento de relâmpagos (LIS - Lightning Imaging System), que permite investigar a distribuição e a variabilidade tanto de descargas elétricas dentro das nuvens como também das nuvens para o solo.

O PR é o primeiro radar meteorológico instalado a bordo de um satélite, o que permite a obtenção da estrutura tridimensional da precipitação. O TMI do satélite TRMM, lançado em novembro de 1997, tem cinco canais que medem até 91 GHz. O radiômetro de varredura em microondas avançado (AMSR-E - Advanced Microwave Scanning Radiometer) incluiu melhorias na resolução espacial em comparação com os instrumentos de satélites anteriores e, além disso, os canais 6,9 e 10,7 GHz permitem a determinação da umidade do solo, da temperatura do gelo no mar e da temperatura da superfície do mar, as quais não são obtidas com o sensor do Satélite Especial em Microondas/Imageador (Special Satellite Microwave/Imager - SSM/I) (Kummerow et al., 1998). Os dados do VIRS fornecem informações de alta resolução da cobertura de nuvens, tipos e temperaturas de nuvens. Maiores informações sobre a missão TRMM podem ser obtidas no site <http://trmm.gsfc.nasa.gov>.

## 2.5. Satélite TERRA

A plataforma orbital TERRA foi lançada em 18 de dezembro de 1999 como parte do programa Sistema de Observação da Terra (Earth Observing System - EOS), da NASA, com o objetivo principal de adquirir dados que possam aumentar os conhecimentos sobre a dinâmica atmosférica global, sobre a interação terra-oceano-atmosfera. Os dados começaram a ser coletados em fevereiro de 2000. A bordo do satélite TERRA, que possui órbita quase-polar, síncrona com o Sol, está a 705 km de altitude, cruza o Equador às 10:30 da manhã (hora local) em órbita descendente, estão os seguintes sensores detalhados a seguir.

**Espectro-radiômetro imageador de moderada resolução** (MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) – Cobre o globo a cada 1 ou 2 dias, possibilitando fazer observações em 36 bandas espectrais, com resolução espacial moderada (0,25 a 1 km), da temperatura de superfície do oceano e do continente, produtividade primária, cobertura da superfície continental, nuvens, aerossóis, vapor d' água, perfis de temperatura e focos de queimada. As medidas do MODIS são utilizadas para a obtenção da temperatura superficial (oceano e continente) e detecção de focos de queimadas; da cor do oceano (sedimentos e fitoplâncton); de mapas de vegetação global e detecção de alterações; das características de nuvens; das concentrações e propriedades dos aerossóis; das sondagens de umidade e temperatura; das características e cobertura de neve e das correntes oceânicas.

**Radiômetro aeroespacial avançado de reflexão e emissão termal** (ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) – é um radiômetro imageador de 14 bandas que produz imagens de alta resolução (15 a 90 metros) nos canais visível, infravermelho próximo (VNIR - resolução de 15 metros), infravermelho de onda curta (SWIR - resolução de 30 metros) e infravermelho termal (TIR - resolução de 90 metros). Os produtos gerados incluem refletâncias e radiâncias espectrais da superfície da Terra; emissividades e temperatura da superfície; composição da superfície e mapas de vegetação; nuvens, gelo marinho e gelo polar e observações de desastres naturais (vulcões, etc).

**Sistema de energia radiante das nuvens e da terra** (CERES - Clouds and the Earth's Radiant Energy System) – este sensor contempla dois radiômetros de varredura de banda larga para medidas de balanço de energia da Terra, e para estimar propriedades das nuvens, visando avaliar seu papel nos fluxos radiativos da superfície para o topo da atmosfera. Cada radiômetro tem três canais, isto é, canal de onda curta para medida de luz solar refletida; canal de onda longa para medir radiação térmica emitida pela Terra na região da "janela" atmosférica entre 8 e 12  $\mu\text{m}$ , e canal de banda larga para radiação total. Os dados do CERES



são utilizados para estudar retroalimentação (*feedback*) e forçantes radiativas devido a nuvens; desenvolver uma base observacional de fluxos radiativos para céu claro; determinar entradas (*inputs*) radiantes para modelos energéticos oceânicos e atmosféricos; melhorar previsões numéricas de tempo de longo termo.

**Espectro-radiômetro de imageamento multi-angular** (MIRS - Multi-Angle Imaging Spectroradiometer) – possui câmeras com 9 diferentes ângulos de visada com medidas no azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. As informações obtidas por este sensor são utilizadas para o monitoramento de padrão de comportamento mensal, sazonal e de longo termo de quantidade e tipo de partículas de aerossol atmosférico, incluindo aqueles gerados por fontes naturais e por atividades antropogênicas; quantidade, tipos e alturas de nuvens e distribuição da cobertura superficial continental, incluindo a estrutura da cobertura vegetal.

**Medidas de poluição na troposfera** (MOPITT - Measurements of Pollution in the Troposphere) – é um instrumento projetado para estudar a baixa atmosfera e observar particularmente como ela interage com o continente e oceano. Especificamente, permite estudar a distribuição, transporte, fontes e sumidouros de monóxido de carbono e metano na troposfera. O MOPITT tem uma resolução de 22 km no nadir, com dados na órbita diurna e noturna, os quais são utilizados para: medida e modelagem de concentrações de monóxido de carbono e metano na troposfera; obter perfis de monóxido de carbono com resolução horizontal de 22 km e 3 km na vertical, com uma precisão da ordem de 10%; medir a coluna de metano na troposfera com uma resolução de 22 km e uma precisão melhor que 1 %; gerar mapas globais de distribuição de monóxido de carbono e metano, e prover um aumento do conhecimento da química atmosférica.

## 2.6. Satélite Aqua

O Satélite Aqua, lançado em maio de 2002, consiste de um sistema orbital quase-polar, síncrona com o Sol, com uma altitude de 705 km, cruzando o Equador às 13:30 da tarde (hora local) em órbita ascendente, para satisfazer uma importante missão da NASA de coleta de uma grande quantidade de informações sobre o ciclo da água no planeta, incluindo evaporação da água nos oceanos, vapor d'água na atmosfera, nuvens, precipitação, umidade do solo, gelo nos oceanos, gelo na terra, e cobertura de neve nos solos. Variáveis adicionais também são medidas pelo satélite AQUA incluindo fluxo de energia radiativa, aerossóis, cobertura da vegetação nos solos, fitoplâncton e matéria orgânica dissolvida nos oceanos, e temperaturas do ar, da água e da terra.

A bordo do satélite Aqua estão os seguintes instrumentos: o espectroradiômetro MODIS; O radiômetro AMSR-E; o sondador atmosférico no infravermelho (AIRS - Atmospheric Infrared Sounder); o sondador avançado AMSU-A, o sistema CERES e o sondador de umidade brasileiro (HSB - Humidity Sounder for Brazil).

O AMSR-E é um sistema de radiômetros em microondas passivo, com doze canais operando em seis frequências (6,925; 10,65; 18,7; 23,8; 36,5 e 89,0 GHz). Os dados desse sensor são utilizados para estudar as propriedades de nuvens; fluxo de energia radiativa; taxa de precipitação; umidade da superfície; gelo no mar; cobertura de neve; temperatura da superfície do mar; campos de vento sobre a superfície do mar.

O sondador avançado de microondas (AMSU) consiste de dois sensores: AMSU-A1 e A2, cujas observações são realizadas em 15 canais discretos entre 50 a 89 GHz. Os dados do AMSU podem ser utilizados para estimativas de umidade e temperatura atmosféricas.

O AIRS realiza medidas simultâneas em mais de 2300 canais espectrais entre 0,4 e 1,7  $\mu\text{m}$  e 3,74 e 15,4  $\mu\text{m}$ , cujos dados são utilizados para estudar a umidade e temperatura atmosféricas; temperaturas superficiais do continente e oceano; propriedades das nuvens e fluxo de energia radiativa.

O HSB é um sondador em microondas com 4 canais, o qual foi desenvolvido pelo Brasil para obter perfis da umidade atmosférica, apesar de ter fornecido dados somente até fevereiro de 2003.

## **2.7. Satélite SMOS**

Atualmente, com o objetivo de desenvolver sensores com frequências mais baixas (canal 1,4 GHz) a fim de obter uma melhoria na informação global da umidade do solo, a Agência Espacial Européia (ESA) está desenvolvendo um sistema de sensor denominado missão Umidade do Solo e Salinidade Oceânica (SMOS - Soil Moisture and Ocean Salinity). O objetivo desta missão é observar duas variáveis, a umidade do solo sobre o continente e a salinidade da superfície oceânica, por meios da radiometria em microondas na banda L. Esta banda é a menos afetada pela vegetação e, por essa razão, a mais apropriada para o monitoramento da umidade em regiões cobertas por vegetação. O lançamento do satélite está programado para 2007 numa órbita geossíncrona a 755 km de altitude, cruzando o Equador às 06:00 da manhã (hora local) em órbita ascendente. No futuro, informações obtidas a partir deste satélite permitirão validar os resultados de vários modelos utilizados para cálculo da umidade superficial, bem como utilizar em modelos para aumentar a acurácia da previsão de tempo e clima (Kerr et al., 2001).

## **3. Considerações finais**

As novas tecnologias a bordo dos satélites têm melhorado a qualidade das informações meteorológicas, possibilitando a geração de cartas da temperatura da superfície do mar, informações do vigor da vegetação, da instabilidade atmosférica e da quantidade de aerossóis, as quais são algumas das principais inovações, além da recepção de novas imagens a cada 15 minutos, fornecidas pelo satélite METEOSAT-8, atualmente recebidas pela DSA/CPTEC.

Outrossim, o INPE utiliza também imagens do GOES, da NOAA, dos Estados Unidos, que cobre melhor a América do Sul e o Brasil em relação ao METEOSAT. Este satélite foca primordialmente o Atlântico Sul e a África. Mesmo assim, os aprimoramentos tecnológicos da nova geração de METEOSATs compensam esta desvantagem de posicionamento e cobertura para a América do Sul. A versão mais avançada do GOES deverá ser lançada somente em 2012.

Além das melhorias da nova geração de METEOSATs, o fato de transmitirem dados à Terra através de um sistema de televisão permite, de um lado, reduzir o custo de infraestrutura de recepção de imagens e, por outro, enviar uma série de informações adicionais, como por exemplo dados de direção e velocidade dos ventos na superfície dos oceanos.

Apesar da cobertura privilegiada do território brasileiro com os satélites GOES, não há meios para garantir a recepção de suas imagens de forma sistemática. A NOAA, responsável por estes satélites, tem deslocado com frequência os equipamentos que cobrem o hemisfério Sul para acompanhar os furacões que surgem no hemisfério Norte.

Recentemente, a NOAA e o INPE negociaram o deslocamento do GOES-10 para uma órbita mais favorável para a cobertura do país, o que deve culminar em melhorias, como o aumento da frequência de imagens, que passarão a ser geradas a cada 15 minutos, e maior frequência de sondagens do perfil vertical da atmosfera, com a geração de dados de temperatura e umidade. Ainda assim, o METEOSAT-8 apresenta vantagens tecnológicas superiores; no entanto, a combinação dos dados dos dois satélites é fundamental à meteorologia do país.

## Referências

Kerr, Y. H.; Waldteufel, P.; Wigneron, J. P.; Martinuzzi, J. M.; Font, J. and Berger, M. Soil Moisture Retrieval from Space: The Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) Mission. **IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens.**, vol. 39, p. 1729-1735, 2001.

Kummerow, C.; Barnes, W.; Koza, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, n. 3, p. 809–817, 1998.

North American Space Agency (NASA). <http://trmm.gsfc.nasa.gov>.

European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT). <http://www.eumetsat.de/en/>.

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). <http://satelite.cptec.inpe.br>.

Souza, R. A. F.; Corrêa, M. P.; Ceballos, J. C.; Angelis, C. F.; Machado, L. A. T.; Lima, F. A.; Macedo, S. R. Contribuições à Meteorologia por satélite: produtos operacionais do CPTEC. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, vol. 29, n. 2, p. 52-64, 2005.