



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-8984-PUD/62

CAPÍTULO 5
TECNOLOGIA ESPACIAL NA PREVISÃO DO TEMPO

Sérgio Henrique Soares Ferreira e Hélio Camargo Júnior

INPE
São José dos Campos
2002

CAPÍTULO 5

TECNOLOGIA ESPACIAL NA PREVISÃO DO TEMPO

Sérgio Henrique Soares Ferreira¹

Hélio Camargo Júnior²

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS

¹ e-mail: henrique@cptec.inpe.br

² e-mail: helio@cptec.inpe.br

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	5- 5
1. INTRODUÇÃO	5-7
2. UM BREVE HISTÓRICO DA METEOROLOGIA	5-8
3. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE SUPERFÍCIE	5-10
4. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE ALTITUDE.....	5-10
5. SATÉLITES METEOROLÓGICOS	5-11
6. PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS (PCD)	5-16
7. ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS E PREVISÃO DO TEMPO	5-17
8. CONCLUSÃO	5-19
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	5-20

LISTA DE FIGURAS

1 – Visão esquemática das orbitas dos satélites meteorológicos operacionais	5-11
2 - Imagem GOES 8 de 28/06/99 12:00 UTC nos canais:	5-13
3 - Temperatura atmosférica global procedente do canal 6 do HIRS do satélite NOAA 14	5-15
4 - Campo de ventos obtidos a partir de imagens do GOES 8	5-16
5 - Análise do dia 28 / 06 /1999 00 GMT - Modelo Global CPTEC	5-17
6 - Previsão de 24 horas Válida para 29/ 06/ 1999 00 GMT	5-19

1. INTRODUÇÃO

Através dos tempos, a compreensão dos fenômenos atmosféricos tem ganhado relevada importância, devido aos prejuízos materiais e de vidas humanas que o desconhecimento destes fenômenos podem ocasionar. Partindo do pressuposto que tais prejuízos podem ser minimizados, ou até mesmo evitados, grandes recursos têm sido aplicados à meteorologia em todos os países do mundo, tanto para o desenvolvimento da previsão do tempo, quanto para a climatologia. Tais recursos não restringem-se apenas aos centros de pesquisa e previsão do tempo, mas abrangem uma fabulosa rede internacional de informações e coleta de dados, mantida pelos países que integram a OMM (Organização Meteorológica Mundial).

Para compreender como funciona esta rede de informações, para fins de previsão de tempo, é necessário compreender a diferença entre tempo e clima. Embora estes dois conhecimentos estejam intimamente relacionados é importante observar que a previsão do tempo corresponde a uma previsão diária do estado da atmosfera, enquanto a caracterização do clima constitui uma generalização ou integração das condições do tempo, para um certo período e uma determinada área. Em termos práticos, tanto para a previsão do tempo quanto para a previsão do clima é necessário um grande volume de dados. Estes provêm de estações meteorológicas distribuídas pelo mundo, das imagens de satélites e de radar, através de informações reportadas por aeronaves, navios e bóias oceânicas. No entanto, para o caso da previsão do tempo, todas estas informações devem chegar aos centros de previsão, o mais rápido possível, para que possam ser analisadas em tempo hábil.

Os resultados da previsão do tempo são divulgados nas mais variadas formas, popularizando uma cultura básica em meteorologia, que nem sempre é compreendida plenamente pelo público em geral, mas que passa a integrar-se cada vez mais na cultura geral do cidadão.

Iniciando por um breve histórico do desenvolvimento da meteorologia, abordamos de forma sucinta o processo da previsão do tempo, desde a coleta das informações nos diversos tipos de estações até a elaboração dos boletins

de previsão do tempo. Cabe destacar que os conceitos básicos de meteorologia e previsão de tempo podem se relacionar com os conteúdos das disciplinas escolares do ensino fundamental e médio.

2. UM BREVE HISTÓRICO DA METEOROLOGIA

O estudo da atmosfera iniciou-se em tempos remotos. No Ocidente os primeiros registros foram feitos por Aristóteles (século IV a.C.), mas foi somente no século XVII que começaram os primeiros passos significativos para o início da meteorologia como ciência. Um fato importante foi a invenção do Barômetro por Torricelli em 1644. A partir da invenção deste instrumento começou a desenvolver o conceito de pressão atmosférica, sua relação com as condições do tempo e a fundamentação das leis físicas nos séculos seguintes.

O barômetro de Torricelli constituía-se de um tubo de vidro fechado em uma das extremidades. Este tubo preenchido com mercúrio era embocado em uma cuba contendo o mesmo líquido metálico. Desta forma, verificava-se na época que o peso da coluna de mercúrio era equilibrado pela pressão do ar, permanecendo aproximadamente à 760 mm de altura, isto é, indicando a pressão de 760 mmHg, o que equivale aproximadamente à 1013 hPa (hecto - Pascal) ou $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, que também corresponde à pressão normal atmosférica ao nível médio do mar. Esta pressão varia com a altitude do lugar e também com as condições do tempo. O aumento dos valores de pressão está relacionado ao movimento descendente do ar, inibindo a formação de nuvens. Ao contrário, a diminuição da pressão, está relacionada ao movimento ascendente do ar, permitindo a condensação do vapor d'água e a formação de nuvens. Tais relações foram depois esclarecidas, através do estudo da dinâmica da atmosfera. Além do barômetro, outros importantes instrumentos meteorológicos foram inventados na mesma época, tais como os anemômetros, termômetros, pluviômetros, etc.

O segundo passo significativo da meteorologia, rumo a viabilização da previsão do tempo, foi dado após a criação do telégrafo elétrico, por Samuel Morse em 1843. Era preciso reunir, de forma praticamente instantânea, as informações obtidas pelas diversas estações meteorológicas. Desta forma, em 1850 em

Washington, foram mostradas ao público os primeiros mapas meteorológicos (Cartas Sinópticas de previsão do tempo), com informações recebidas através do telégrafo.

Outro grande passo foi dado em agosto de 1853, com a Primeira Conferência Meteorológica Internacional, celebrada em Bruchelas. O grande foco desta Conferência foi a necessidade de padronização da forma de coleta e transmissão de informações meteorológicas, e da necessidade de cooperação internacional para disseminação destas informações, que começou a se concretizar de fato após 1873, com a realização do Primeiro Congresso Internacional em Viena. Este foi um acontecimento sem precedentes na história da cooperação internacional em meteorologia, abrindo as portas para a criação da OMM - WMO (Organização Meteorológica Mundial - World Meteorological Organization) <http://www.wmo.ch>

No entanto, apesar de tudo isto, não se conseguia fazer previsões do tempo confiáveis com mais de 1 dia de antecedência. Era possível avaliar através das cartas sinópticas as condições do tempo, conhecia-se como as massas de ar se comportavam em média, mas a previsão do estado futuro da atmosfera dependia principalmente da experiência do meteorologista, pois os cálculos numéricos necessários para a previsão são extremamente complexos. Tal problema tem sido resolvido recentemente com o desenvolvimento dos supercomputadores, que têm permitido a utilização de modelos numéricos de previsão do tempo, cada vez mais precisos e que integram toda a gama de dados meteorológicos existentes. Esta nova técnica constitui-se no que hoje se chama de previsão objetiva do tempo, em contraposição as técnicas subjetivas, que se vale da experiência do meteorologista.

No Brasil, o INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, através do CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos em Cachoeira Paulista -SP foi pioneiro no Brasil no uso de supercomputadores para a previsão objetiva do tempo, quando em 1994 inaugurou o seu primeiro supercomputador NEC - SX3. Desde então, o CPTEC tem produzido previsões confiáveis com até 6 dias, através do Modelo Global e até 3 dias com o Modelo

Regional. Estas informações são disponibilizadas diariamente através da Internet desde 1996 (<http://www.cptec.inpe.br>).

3. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE SUPERFÍCIE

Estas estações são locais destinados a realização das observações meteorológicas, para a obtenção de dados, que caracterizam o estado presente da atmosfera. Estas estações, conforme a finalidade a que se destinam, podem ser agrupadas em diversas categorias. Dentre estas categorias, estão as chamadas estações sinópticas, que realizam as observações meteorológicas em horários padronizados internacionalmente. Os horários principais correspondem à 00, 06, 12, 18 (GMT) - "Greenwich Meridian Time". Após a realização das observações, o observador meteorológico, responsável pela estação, prepara os dados para serem enviados, através do "Global Telecommunication System (GTS)" em forma de boletins codificados conforme norma da OMM.

Basicamente, uma estação meteorológica dispõe de um conjunto de instrumentos para a avaliação das condições do tempo presente. O principal é o barômetro, destinado a medida da pressão atmosférica e a obtenção da pressão reduzida ao nível médio do mar. Além deste instrumento, a estação possui um ajardinado, lugar onde normalmente é instalado um anemômetro, para a medida da direção e velocidade do vento; um pluviômetro ou pluviógrafo, para a medida de precipitação e um abrigo ventilado, onde encontram-se os instrumentos destinados a medida da temperatura do ar e da umidade relativa.

Além das medidas destes instrumentos, o observador meteorológico, relata as condições gerais do tempo, tais como, nebulosidade, visibilidade, etc.

4. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE ALTITUDE

As estações meteorológicas de altitude destinam-se a determinação da estrutura vertical da atmosfera. Nestas estações são normalmente empregadas as radiossondas, que consistem basicamente de dispositivos eletrônicos

dotados de um transmissor de rádio e dos sensores de temperatura, umidade e pressão. Estes dispositivos são lançados através de balões, que podem atingir altitudes de até 40 quilômetros. Durante seu vôo, as informações obtidas pelo equipamento são transmitidas continuamente para um receptor na estação em terra. Como o balão viaja à deriva, a direção e velocidade dos ventos são calculadas por intermédio do sinal de localização emitido pela própria radiossonda. Tais informações são codificadas e transmitidas, via GTS, para os centros de previsão do tempo, em horários padrões, conforme estabelecido pela OMM. No entanto, devido ao alto custo das radiossondagens, estas são realizadas apenas duas vezes ao dia nos horários de 00 e 12 GMT

5. SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Os satélites geostacionários situam-se a uma distância aproximada de 36000 Km, necessária para que estes se movimentem junto com a Terra. Como estes satélites visualizam sempre a mesma face do nosso planeta, uma imagem completa de toda a Terra só é possível através da concatenação das imagens procedentes de diferentes satélites estrategicamente posicionados como ilustra a Figura 1.

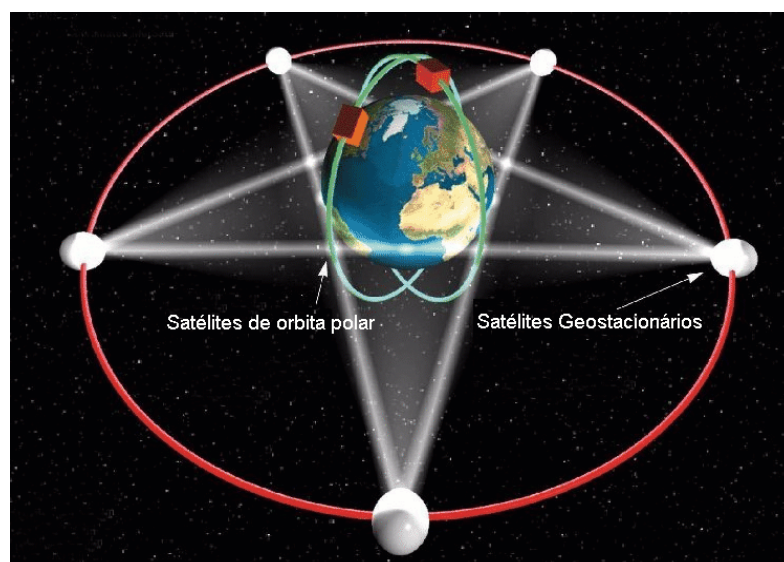


Fig. 1 – Visão esquemática das órbitas dos satélites meteorológicos operacionais.

O sistema global de satélites meteorológicos, coordenado pelo CGMS (Coordination Group for Meteorological Satellites), corresponde a uma constelação mínima de 5 satélites de orbitas geoestacionárias e dois satélites de orbitas quase polares (<http://www.eumesat.de/en/area2/cgms/cover.htm>).

O mesmo não ocorre com os satélites de orbita polar. Situados em orbitas tipicamente bem mais próximas da Terra (850 Km de distância), os satélites polares cruzam o globo terrestre de Polo a Pólo , realizando uma volta completa em aproximadamente 100 minutos. Uma das características típicas destas orbitas é de normalmente serem heliosíncronas, isto é, fixas em relação ao plano do Sol. Desta forma, a medida que os satélites viajam entre os pólos a Terra gira de Oeste para Leste, exibindo a cada nova passagem do satélite uma região diferente do planeta. Uma imagem completa do planeta pode ser então obtida, através da composição das imagens individuais das várias passagens do mesmo satélite durante um período de 24 horas.

A partir dos primeiros satélites meteorológicos , lançados na década de 60, imagens da cobertura de nuvens sobre a superfície da Terra tem sido utilizadas pelos meteorologistas como um importante recursos na previsão subjetiva do tempo. Através da interpretação destas imagens os meteorologistas podem identificar e acompanhar os diversos sistemas meteorológicos, tais como sistemas frontais e tempestades tropicais.

Tais imagens são obtidas através de sensores de radiação em diversas faixas do espectro, tais como a faixa da luz visível , faixa de infravermelho de $11\mu\text{m}$ e na faixa de absorção do vapor d'água. Por exemplo, a imagem da Figura 2 (a) foi obtida a partir do satélite geoestacionário GOES - 8 no canal 4 (Imagem Infravermelha de $10,3$ a $11,3\mu\text{m}$). Nesta imagem verifica-se as nuances de radiação térmica emitidas pela atmosfera e pela superfície da Terra. As regiões mais claras da imagem equívalem as regiões mais frias e normalmente estão associadas ao topo das nuvens mais altas. As partes mais escuras são associadas as nuvens médias e baixas, ou ao solo descoberto. A Figura 2 (b), obtida pelo mesmo satélite da Figura 2 (a) praticamente ao mesmo tempo corresponde ao canal -1 (Imagem Visível). A grosso modo podemos dizer que.

esta é uma fotografia preto e branco da Terra onde podemos observar claramente as nuvens e as nuanças de luz produzidas pelo Sol.

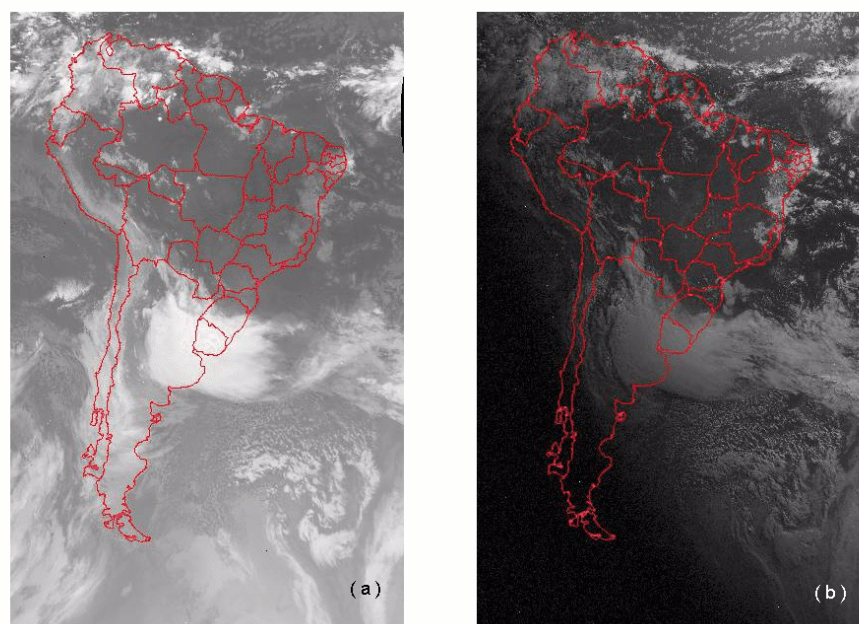


Fig. 2 - Imagem GOES 8 de 28/06/99 12:00 UTC nos canais:
(a) Infravermelho ; (b) Visível

Neste caso, ambas as imagens evidenciam a passagem de uma frente fria sobre o Uruguai. Ao norte da América do Sul, uma faixa de nuvens aglomeradas marcam a presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que na época do ano em questão, o Inverno, situa-se em média, um pouco mais ao norte do Equador. Em contraposição, a imagem da Figura 1(a) independe da iluminação do Sol, visto que trata-se de radiação Infravermelha emitida pela Terra; o que não ocorre na imagem da Figura 1(b). Nesta última, percebe-se as sombras nas nuvens devido a inclinação do Sol, assim como as regiões iluminadas e não iluminadas (dia / noite) no horário da imagem.

No entanto, as possibilidades dos satélites vão além da simples obtenção de imagens da Terra. Através de programas de computadores específicos, as medidas de radiação podem ser utilizadas na obtenção de uma série de outras informações derivadas e em formato apropriado aos Modelos Numéricos de Previsão do Tempo. Dentre os muitos tipos de dados obtidos, os mais comuns

e disponíveis através do GTS são as informações de TOVS, SATEM, e SATOB.

O TOVS (TIROS³ Operational Vertical Sonder) corresponde a medidas de radiação em diversas regiões do espectro. Através destas medidas obtém-se perfis reconstituídos de temperatura e umidade em diferentes camadas da atmosfera, semelhante aos dados convencionais de radiossondagem. Na realidade, os dados de TOVS não possuem a mesma precisão dos dados de radiossondagens, porém os satélites obtêm estes dados continuamente sobre toda a superfície da Terra enquanto as radiossondagens, realizadas nas poucas estações meteorológicas de altitude, constituem dados isolados e por isto insuficientes para a caracterização tridimensional do estado físico da atmosfera.

Os dados de TOVS são obtidos através de satélites de órbita polar, atualmente NOAA-14. O SATEM é semelhante ao TOVS, porém obtido por satélites geoestacionários. Na Figura 3 são apresentadas as temperaturas obtidas através de um dos sensores do TOVS do satélite NOAA 14, mais especificamente o canal 6 do HIRS (High Resolution Infrared Radiation Sounder) Tal canal caracteriza as temperaturas atmosféricas próximo ao nível de 800 hPa (altitude aproximada de 2000 m acima do nível médio do mar). A cada nova passagem do satélite uma nova faixa de valores de temperatura é obtida, sendo observados valores desde 201 K ou -72°C sobre as regiões polares até valores de aproximadamente 269 K ou -4°C sobre o continente africano.

³ TIROS - Television Infra-red Observation Satellite

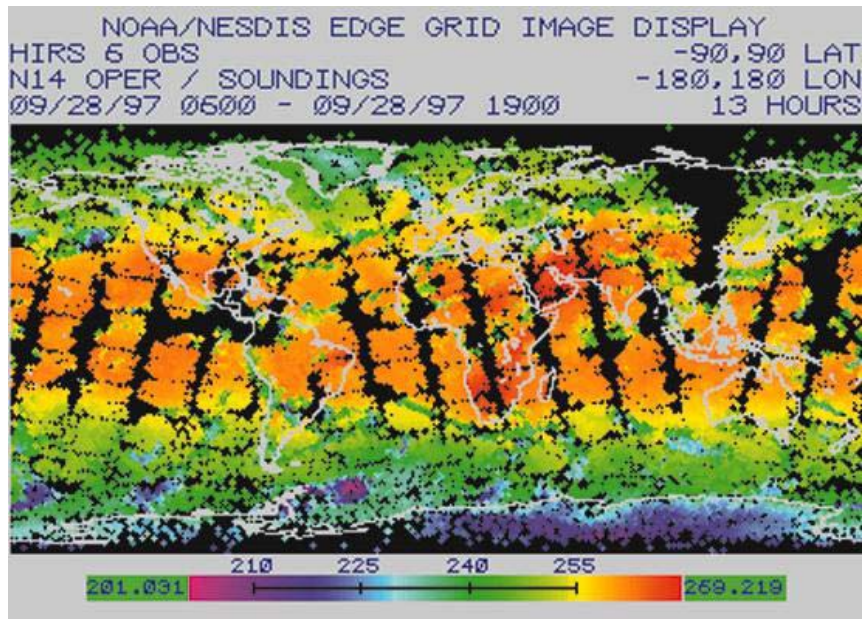


Fig.3 - Temperatura atmosférica global procedente do canal 6 do HIRS do satélite NOAA 14

Fonte : EUMETSAT

O SATOB, obtido exclusivamente por satélites geoestacionários, corresponde a dados de direção e velocidade dos ventos em vários níveis na atmosfera. A técnica de extração dos ventos emprega imagens sucessivas de cobertura de nuvens. Complexos programas de computador identificam o deslocamento e a evolução das nuvens em imagens sucessivas, estimando assim os valores de direção e velocidade dos ventos. Como exemplo, os vetores na Figura 4 representam a direção e velocidade dos ventos obtidos no CPTEC com dados provenientes do satélite geoestacionário GOES – 8.

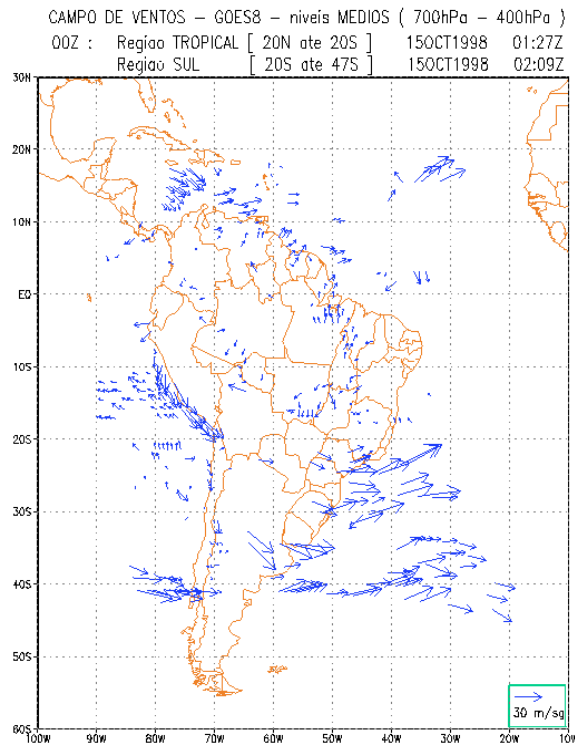


Fig. 4 - Campo de ventos obtidos a partir de imagens do GOES 8

Fonte: CPTEC

É importante salientar que estes são apenas alguns dos muitos tipos de dados obtidos através dos satélites para a previsão do tempo. Informações relativas a temperatura da superfície do mar, umidade do solo, entre outras derivadas dos dados de satélites, são igualmente importante para previsão do tempo e clima.

6. PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS (PCD)

As PCDs são estações meteorológicas capazes de automaticamente obter quase todos os tipos de dados obtidos por uma estação meteorológica de superfície convencional. Dotada de painel solar, dispensa o uso de energia elétrica. Os dados são transmitidos pelos satélites de coleta de dados (No Brasil, pelo SCD2 do INPE). Sua utilização estende-se nas áreas onde existem poucas estações meteorológicas convencionais, ou em áreas de difícil acesso como, por exemplo, a Amazônia.

7. ANÁLISE DOS DADOS METEOROLÓGICOS E PREVISÃO DO TEMPO

As estações de Superfície, as imagens de satélites, as radiossondagens, junto com dados obtidos por navios, aviões e bóias integram a massa de dados para as previsões do tempo. Estes dados são analisados através de cartas sinópticas. A partir da análise destas cartas são realizadas as previsões do tempo. Com a utilização de supercomputadores, o CPTEC tem realizado às análises e previsões através de modelos numéricos.

A Figura 5 ilustra um recorte da análise dos campos de pressão do Modelo Global do CPTEC para as 0 horas GMT do dia 28 / 06 / 1999 , isto é , apenas 12 horas antes das imagens de satélite da Figura 2.

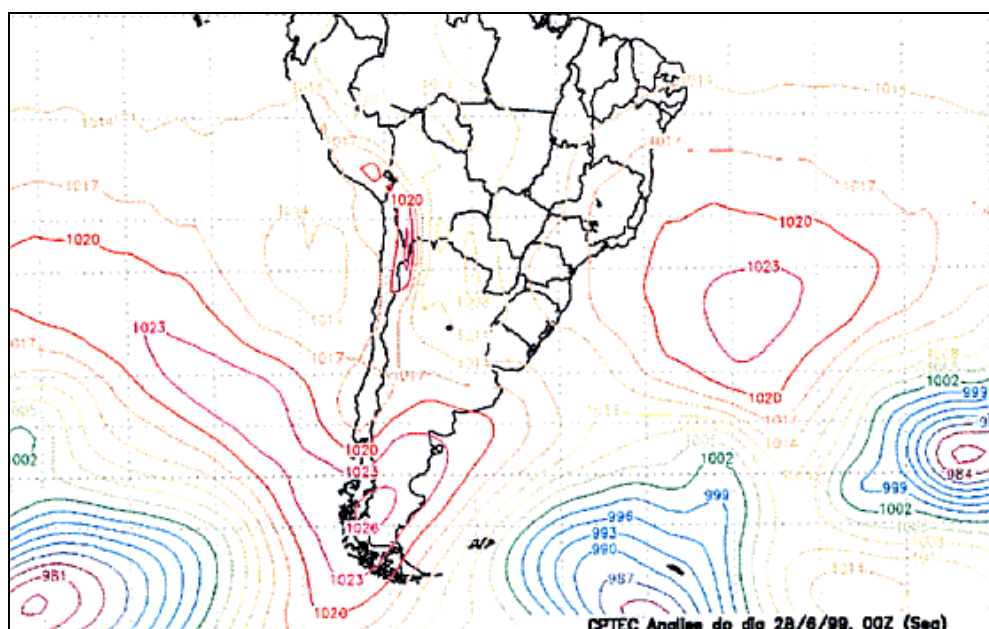


Fig. 5 - Análise do dia 28 / 06 /1999 00 GMT - Modelo Global CPTEC

Através desta análise verificam-se dois centros de alta pressão, um sobre o Sul da Argentina com pressões em torno de 1026 hPa, outro sobre o Atlântico (1023 hPa). Estes centros de pressão caracterizam grandes massa de ar. A primeira, sobre a Argentina, certamente possui temperaturas baixas e avança em direção à segunda, no Atlântico, onde as temperaturas são maiores. A região de confronto entre as duas é denominada região de frente, que neste caso, por caracterizar o avanço de massa de ar frio sob a massa de ar quente,

corresponde à uma frente fria que atua sobre o Uruguai. Na região da frente, temos baixas pressões e grandes movimentos de ar úmido, que produzem grande quantidade de nuvens e chuva.

Uma característica interessante dos centros de alta pressão é a circulação dos ventos em torno destes centros. No Hemisfério Sul, a circulação dos ventos ocorre no sentido anti-horário e no Hemisfério Norte, no sentido horário. Tal movimento é chamado de circulação anti-ciclônica, que em partes é decorrente do movimento de rotação da Terra. Nos centros de baixa pressão o movimento é invertido, isto é, horário no Hemisfério Sul e anti-horário no Hemisfério Norte, sendo também chamado de circulação ciclônica. É o exemplo do ciclone situado no litoral sul da Argentina (Figura 5), que apresenta valores de pressão inferiores à 986 hPa. Tal ciclone encontra-se ainda associado à frente fria sobre o Uruguai. Podemos também perceber este ciclone através das imagens de satélite da Figura 2, através da disposição das nuvens em espiral.

Na Figura 6 temos as previsões do modelo Global do CPTEC para as próximas 24 horas. Nesta figura, além dos campos de pressão estão sobrepostos os campos de precipitação acumulada no período.

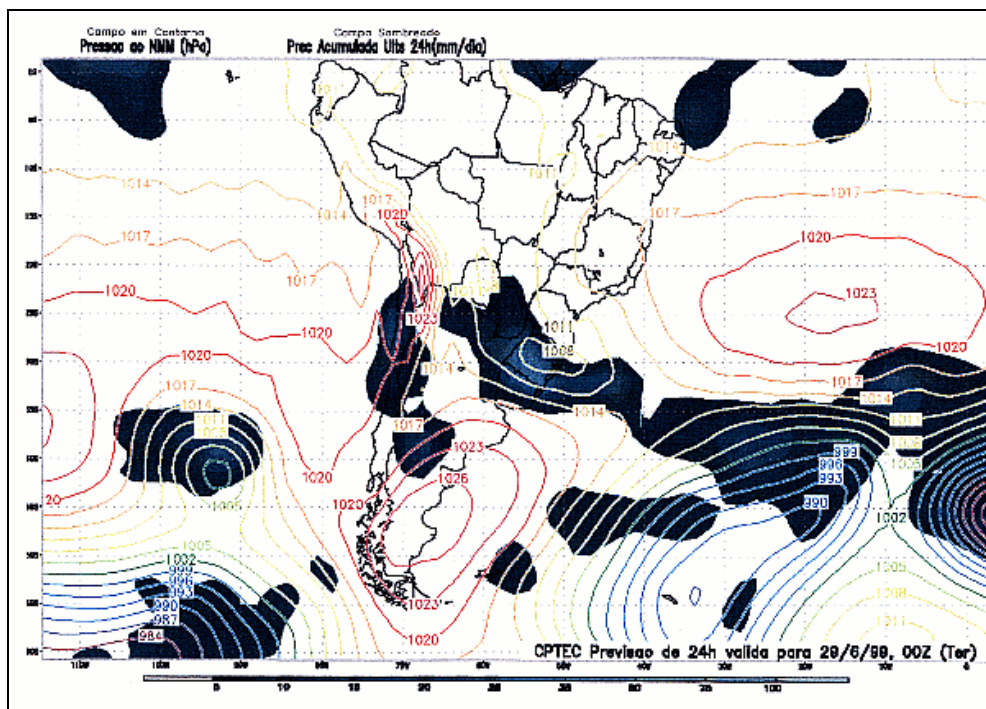


Fig. 6 - Previsão de 24 horas Válida para 29/ 06/ 1999 00 GMT

Comparando-se o campo de pressão desta figura com a análise da Figura 2 , verificamos que o modelo prevê o sistema frontal sobre o Rio Grande do Sul , onde também são previstas chuvas, que se estendem sobre o oceano Atlântico. O centro de baixas pressões, associados à este sistema, desloca-se para leste enquanto a alta pressão, da retaguarda deste sistema, avança sobre o sul da Argentina. A Alta pressão do Atlântico estende-se por grande parte da Região Sudeste e Nordeste do Brasil, onde o tempo provavelmente permanece estável com poucas nuvens, exceto na região litorânea, compreendida entre o Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Da mesma forma que foi gerada esta previsão, o Modelo Global do CPTEC gera previsões até 120 horas (6 dias). Deve-se no entanto observar, que quanto mais longas forem as previsões do tempo, menos confiáveis elas serão.

Além do Modelo Global, o CPTEC ainda disponibiliza os resultados do Modelo Regional ETA, que utiliza uma grade de resolução de cálculo de 40 x 40 Km de área para até 3 dias de previsão, portanto bem mais preciso que o modelo Global, que utiliza uma grade de 200 x 200 Km.

Deste modo, exemplificamos como as informações meteorológicas são trabalhadas, até a saída das previsões numéricas do tempo. O Último passo deste processo é a interpretação destas saídas pelos meteorologistas, que confeccionam os boletins escritos de previsão do tempo, para serem posteriormente divulgados. Estes boletins são atualizados diariamente na Internet.

8. CONCLUSÃO

Para a previsão do tempo é necessário o envolvimento de grandes recursos e da cooperação entre os países. Os resultados são úteis para diversas áreas de atividade humana e também para a população em geral. No entanto, para que tais resultados possam ser melhor aproveitados, sejam estes por especialistas ou pelo público em geral, não basta ter acesso às informações. É necessário noções gerais de meteorologia, e ainda conhecimentos das mais diversas áreas, tais como a física, matemática e geografia entre outras, destacando a

importância do trabalho do professor, na divulgação desses conhecimentos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahrens, C. D. **Meteorology Today: An introduction to Weather, Climate and the Environment**. 5. Ed. West Publishing Company, 1994

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS: CPTEC.

Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas: A utilização de Multimídia e da Rede Internet no ensino Público de Nível Médio. Disponível na Internet: <http://www3.cptec.inpe.br/~ensinop/index.html> [19 Jun. 2001]

Fleming J. **Historical Essays on Meteorology 1919-1995**, American Meteorological Society, Boston 1996.

Novo, E. M. **Sensoriamento remoto: Princípios e Aplicações**, Edigard Blücher São Paulo, 2ª ed , 1998

THE EUROPEAN ORGANISATION FOR METEOROLOGICAL SATELLITES: EUMETSAT. **CGMS Directory of Meteorological Satellite Applications**. Disponível na Internet <http://www.eumetsat.de/en/area2/cgms/cover.htm> [19 Jun. 2001]

Vianello, R.L. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa, UFV Imprensa Universitária, 1991

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: WMO. **One Hundred Years of International Co-operation in Meteorology (1873-1973)**. WMO No. 345, Geneva, 1973