

A SEVERIDADE DAS GEADAS DE 1981, VISTA PELO SATÉLITE GOES

Michael A. Fortune

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

O Departamento de Meteorologia do INPE fez um esforço especial, "Operação Inverno", para documentar a ocorrência e intensidade de temperaturas muito baixas no Brasil. Além do valor intrínseco dessa informação, precisava-se de dados-base para um modelo de previsão de geadas a curto prazo, a ser desenvolvido para os próximos invernos. Imagens do canal infra-vermelho do satélite meteorológico SMS/GOES foram realçadas e amostradas em cores e em preto e branco em telas de televisão em tempo real. Estas foram comparadas com observações nas estações agrometeorológicas de 3 estados. A "Operação Inverno" captou a geada de 20-22 de julho de 1981, que destruiu boa parte da cultura do café. As fotografias de imagens realçadas neste trabalho documentam amplas ocorrências de temperaturas abaixo de zero nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, e São Paulo. Estas áreas sub-tropicais estão situadas ao norte da região geralmente afetada por geadas, e então os prejuízos foram muito grandes. O fator sinótico de maior destaque não foi uma frente fria, mas sim um vórtice frio "desprendido" no ar superior. As fotografias e as observações das estações, serão muito úteis no desenvolvimento de um modelo de previsão de geadas.

ABSTRACT

The Department of Meteorology of INPE prepared a special data collection effort, "Operação Inverno", to document the location and intensity of freezing temperatures during very cold nights ("geadas") in Brazil. In addition to its intrinsic value, this data is needed for a Freeze Forecast model to be developed. Images from the thermal channel of the SMS/GOES weather satellite were enhanced and displayed in real time on TV monitors in color and black-and-white. The Operation was in progress when a cold snap occurred on 21 July 1981 which destroyed a large part of the coffee harvest. The photographs in this report document the widespread occurrence of sub-freezing temperatures in the states of Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, and São Paulo. These sub-tropical areas are located north of the region which usually experiences frost, and thus the damage to agriculture was extensive. The synoptic factor responsible for the cold was a wandering cold-core cutoff cyclone in the upper air, and not a strong cold front. The data contained in these photographs, when combined with the meteorological observations also presented here, will be valuable in developing a prediction model for "geadas".

1. INTRODUÇÃO

Antes do inverno de 1981, o Departamento de Meteorologia do INPE passou a dispor de meios para documentar a intensidade e a localização de geadas, em tempo real, em virtude de tecnologia para receber, processar e exibir imagens de satélite, com grande detalhes, que havia sido implementado (Molion et alii, 1981). Conscientes da importância do monitoramento preciso e imediato das temperaturas de superfície, utilizando dados de satélite, e desejando aproveitar a estação de inverno para coletar os dados necessários para um modelo de previsão de curto prazo para ocorrência de geada, lançamos a "Operação Inverno" para

alcançar esses objetivos. Fazia parte dos planos documentar de diversas maneiras, a localização de congelamento durante as noites com possibilidade de geada. Para esse fim, dispunha-se de três métodos diferentes de armazenar dados de satélites:

- a) Gravação em fita magnética, do sinal bruto do satélite meteorológico GOES-Leste. Os dados brutos de imagens no infravermelho, obtidas em intervalos de uma hora durante a noite, seriam mais tarde analisadas com a ajuda de computadores.

- b) Confeção de uma fotografia bem detalhada num filme de alta densidade a partir de imagens no infravermelho, especialmente realçadas para delinear os contornos da temperatura continental, com precisão de 1°C. Isto foi realizado com o VIZIR, um imageador a laser de origem francesa, que passou recentemente a operar no INPE diariamente.
- c) Exibição das mesmas imagens em tempo real nas telas de televisão da "Unidade de Análise de Imagens (UAI)". Esta unidade eletrônica, em grande parte desenvolvida pelo Eng^o Paulo Pio Camilli, pode também realçar imagens e exibir uma sequência de imagens no modo de animação, revelando o movimento das nuvens e a marcha da configuração dos campos de temperatura. O sistema conta com dois monitores de televisão, um a cores e outro em preto-e-branco. Durante a "Operação Inverno", fotografou-se ambas as telas, em intervalos regulares de tempo. Isto se mostrava necessário em virtude do sistema não ter ainda a capacidade de armazenar as imagens vistas na tela, em caráter permanente.

Além disto, foram também coletadas observações convencionais da geada:

- a) As observações meteorológicas da rede das estações da OMM, recebidas no INPE via teletipo, eram continuamente analisadas pelos meteorologistas. As observações de temperatura mínima mostraram-se especialmente úteis para confirmar e calibrar as informações de satélite.
- b) Foram feitos acordos com o Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO), do Estado do Rio Grande do Sul, e com o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), para que observações especiais fossem realizadas durante as noites de alerta de geada, mediante aviso antecipado do INPE. O Instituto Agronômico de Campinas já teve um plano montado para a realização de observações especiais. Estas observações da rede de estações agrometeorológicas foram imediatamente transmitidas ao INPE.

2. SITUAÇÃO SINÓTICA DA GEADA, DE 19 A 21 DE JULHO DE 1981

As condições meteorológicas associadas com esta geada eram bastante diferentes daquelas de 1975 e de 1979, e assim era uma das mais notáveis geadas ocorridas no Brasil (Fortune e Kousky, 1982). Ao contrário do ocorrido nesses eventos, a presença de uma

frente fria não foi um fator de influência na introdução da massa de ar frio e também não houve um escoamento direto de ar subantártico do sul do Chile e Argentina, canalizado através do flanco leste da Cordilheira dos Andes para o sul do Brasil. Isto ocorre frequentemente, quando um cavado de uma onda longa bastante intensa na atmosfera amplifica-se tanto que o ar é forçado inicialmente a passar através das latitudes antárticas e logo depois através de latitudes subtropicais, na sua marcha ao redor do globo. Estas condições, que são esperadas como aquelas que precedem a geada, não ocorreram durante o experimento de 1981.

Uma frente fria passou realmente através da área nos dias 17 e 18 de julho, mas não foi forte, produzindo algumas chuvas e parando próximo ao Rio de Janeiro por alguns dias, não conseguindo atingir Cabo Frio. (Em contraste, essa frente fria entrou vigorosamente no Oeste do Brasil, que experimentaram baixas de temperatura nunca vistas, e a frente chegou ainda a cruzar o equador, penetrando no Hemisfério Norte, entrando na Colômbia e Venezuela).

O elemento importante na geada deste ano foi a passagem de um ciclone despreendido, através do Sul do Brasil. A Figura 1 fornece a síntese da situação sinótica. Pode-se ver um vórtice circular fechado sobre o Estado do Paraná. O vórtice, que é chamado ciclone, apresentou-se forte no ar superior e praticamente não perceptível por observações à superfície. Como é indicado no mapa, em 18 de julho este vórtice foi formado a oeste do Uruguai. Quando se formou, o ciclone prendeu um bolsão de ar frio no seu centro, ar que tinha chegado a pouco tempo de latitudes subantárticas. O vórtice, então, movimentou-se lentamente em direção ao Sul do Brasil, atingindo a Costa Atlântica, próxima a Paranaguá, na noite do dia 20. Em todas as noites, de 18 a 22, ele provocou uma faixa de temperatura abaixo do ponto de congelamento, no seu flanco oeste, mas somente três dias depois ele causou geadas prejudiciais. Nota-se também a presença de um forte anticiclone (célula de alta pressão), partido em duas células sobre o Paraguai e o Uruguai, e que sempre ficou a oeste do ciclone despreendido.

Quando o vórtice entrou no Brasil, nuvens extensas impediram a possibilidade da ocorrência de geadas na manhã do dia 20 de julho, exceto em pequenas áreas no Paraná, próximas à fronteira com São Paulo, onde o céu se apresentava claro. Na manhã seguinte (21 de julho) sob céu claro, ocorreram extensas geadas, a serem descritas na próxima seção. Em 22 de julho, somente uma leve geada ocorreu: temperaturas no abrigo não baixaram a menos de zero em nenhuma estação da rede, embora condições de subcongelamento tenham aparecido em locais como vales.

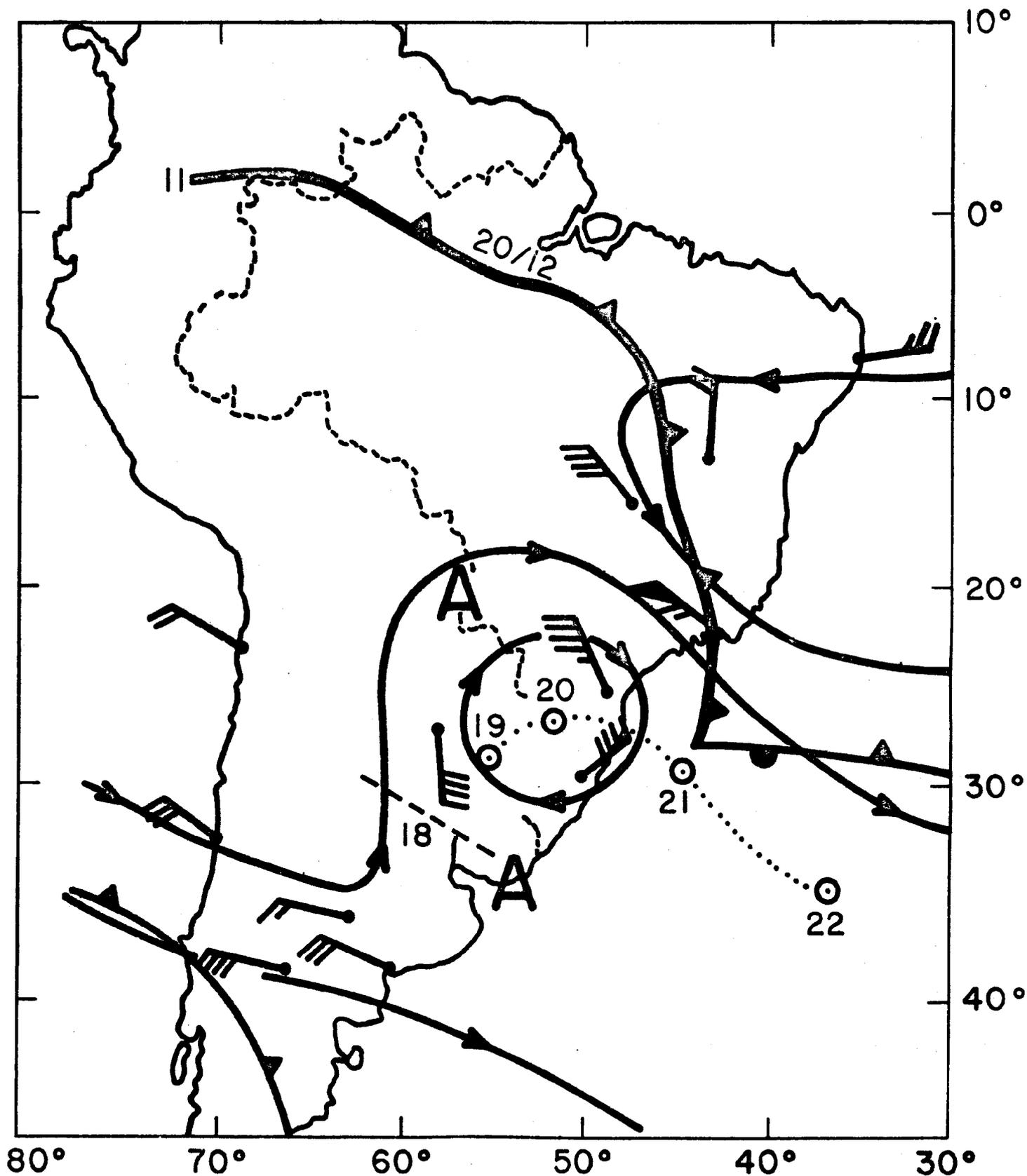


Fig. 1 - Resumo da situação sinótica da geada de 21 de julho de 1981. A análise é para 9:00 HL do dia 20, antes da noite da geada. A linha escura grossa, com barbelas, é a frente fria à superfície. Curvas finas com setas indicam o escoamento em 500 mb, e algumas observações de vento em 500 mb são plotadas. O ciclone fechado é evidente sobre o Estado do Paraná. A posição para cada dia do ciclone às 9:00 HL é mostrada pelos círculos com pontos no seu interior, e a linha pontilhada é a trajetória. Dois centros de alta pressão à superfície são indicados pela letra A.

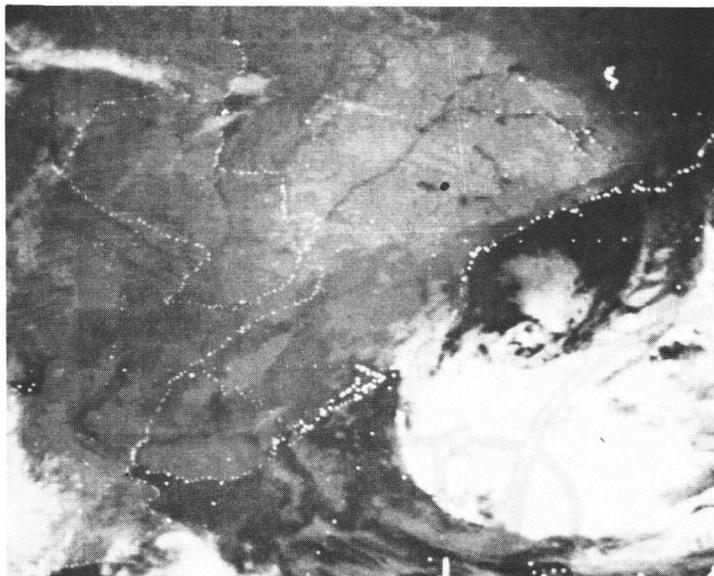


Fig. 2 - Imagem do satélite GOES, no canal infravermelho, da região sul do Brasil, às 6:00 HL do dia 21 de julho de 1981. Um mapa (linhas brancas pontilhadas) é superposto.

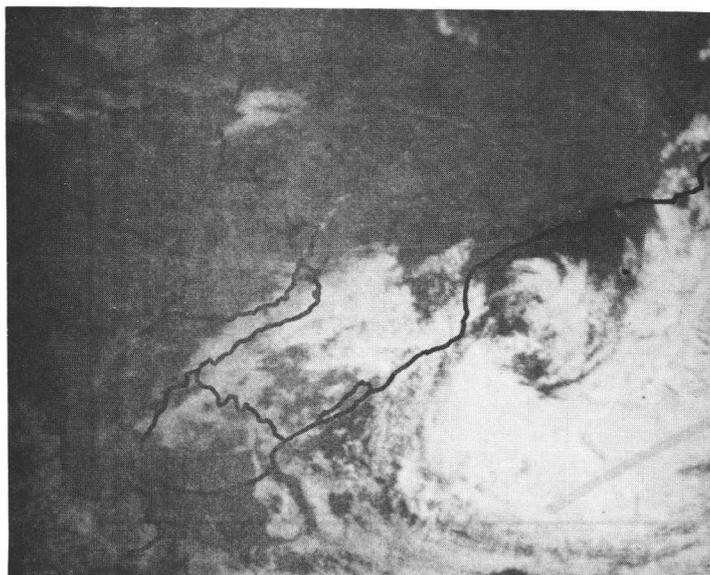


Fig. 3 - Imagem do satélite GOES, no canal visível, da mesma região, às 8:30 HL do mesmo dia.

3. MAPEAMENTO DAS BAIXAS TEMPERATURAS NA NOITE DE 20/21 DE JULHO

Nesta noite, o INPE obteve êxito na documentação do local e da intensidade das áreas mais frias, através da utilização das fotografias do UAI (Fortune, 1981). Na Figura 2, que é uma imagem da área afetada, obtida no canal infravermelho do satélite GOES, às 6:00 HL (hora local), pode-se ver a nuvem branca espiralada do vórtice desprendido ao sudeste de Santa Catarina. Virtualmente, todo o Sul do Brasil aparenta ter céu claro e baixas temperaturas de superfície, como sugerida pela região sombreada em cinza-claro no oeste de São Paulo e áreas adjacentes, e também pela aparência escura dos rios Paraná e Paranapanema, Pantanal, e alguns reservatórios, que são mais escuros devido ao fato de suas águas serem mais quentes que o continente.

A Figura 3, que é uma imagem da mesma área no canal visível, complementa a Figura 2. Ela foi obtida às 8:30 HL, após o nascer do sol, e confirma a presença de nuvens baixas sobre o continente nos estados de Paraná, Santa Catarina, e Rio Grande do Sul, e a ausência de nuvens nos demais estados. As nuvens baixas podem causar confusão na interpretação das imagens no infravermelho, como na Figura 2, por que podem ter a mesma temperatura do solo.

Com a finalidade de obter as isolinhas de temperatura da superfície terrestre, as imagens no infravermelho foram realçadas de hora em hora, das 21:00 do dia 20 às 7:00 do dia 21, quando ocorreu uma forte entrada de ar frio. O elemento surpreendente é que a área com temperaturas negativas, na realidade de crescem das 21:00 às 3:00, embora a área com temperaturas positivas entre 0°C e $+4^{\circ}\text{C}$ estivesse aumentado. A área afetada por temperaturas abaixo de 0°C deslocou-se do Paraná, às 21:00, em direção a São Paulo às 3:00 horas. Notou-se também, a expansão abrupta da área de subcongelamento entre 3:00 e 5:00 horas, e a ocorrência de temperaturas cada vez mais baixas até 6:30 horas, no sul de Mato Grosso e de Minas Gerais.

A fim de destacar melhor as temperaturas mais frias à superfície, a imagem na Figura 2 foi realçada de maneira especial. O produto é apresentado na Figura 4. Nas regiões continentais e oceânicas, onde as temperaturas são maiores que 4°C , e também nas nuvens com topos mais frios que -4°C , foi atribuída uma tonalidade de cinza uniforme, pois situam-se fora da faixa térmica de interesse. O que sobrou dessa operação foi uma extensa área na parte centro-superior da Figura 4. Entre -4°C e $+4^{\circ}\text{C}$, foram atribuídas oito tonalidades de cinza aos oito intervalos de temperatura, sendo a isolinha de 0°C representada pelo contorno nítido de preto/branco. As áreas abaixo de zero graus são indicadas por tonalidades escuras, enquanto as áreas um pouco acima de 0°C



Fig. 4 - Imagem realçada da área afetada pela geada às 6:00 HL no dia 21/7/81. A escala de cinza representa temperaturas de -4°C a $+4^{\circ}\text{C}$ em intervalos de 1°C , baseadas na tabela de calibração do satélite. As linhas pontilhadas representam os contornos políticos. O contorno nítido preto/branco localiza a isoterma de 0°C . Tonalidades mais escuras representam temperaturas abaixo de 0°C ; mais claras, acima de 0°C .

são indicadas por tonalidades claras.

A Figura 4 mostra que a área congelada estendeu-se da fronteira com Paraguai até o sul de Minas, e do Paraná até Goiás. As áreas mais elevadas experimentaram, aparentemente, mais frio que os grandes vales nestas regiões. Nas Figuras 2 e 4, destacam-se os vales dos rios Paraná, Paraguai, Paranaíba, Grande, Tietê, Aguapeí, do Peixe, Paranapanema e certas represas ao longo desses rios. Isso é evidente observando-se as tonalidades indicando temperaturas mais amenas. Nas demais regiões

o frio era generalizado, chegando a -3°C em extensas áreas entre Ribeirão Preto e a represa de Furnas (MG), e, em Mato Grosso do Sul imediatamente a oeste do Estado de São Paulo.

O monitor de TV em cores foi também usado para realçar as imagens de hora em hora. A Figura 5 é um realce das temperaturas às 6:00 HL. Pode-se notar facilmente as áreas abaixo de 0°C em violeta e vermelho. Usadas em tempo real, as imagens coloridas definiram o progresso da geada de maneira impressionante.

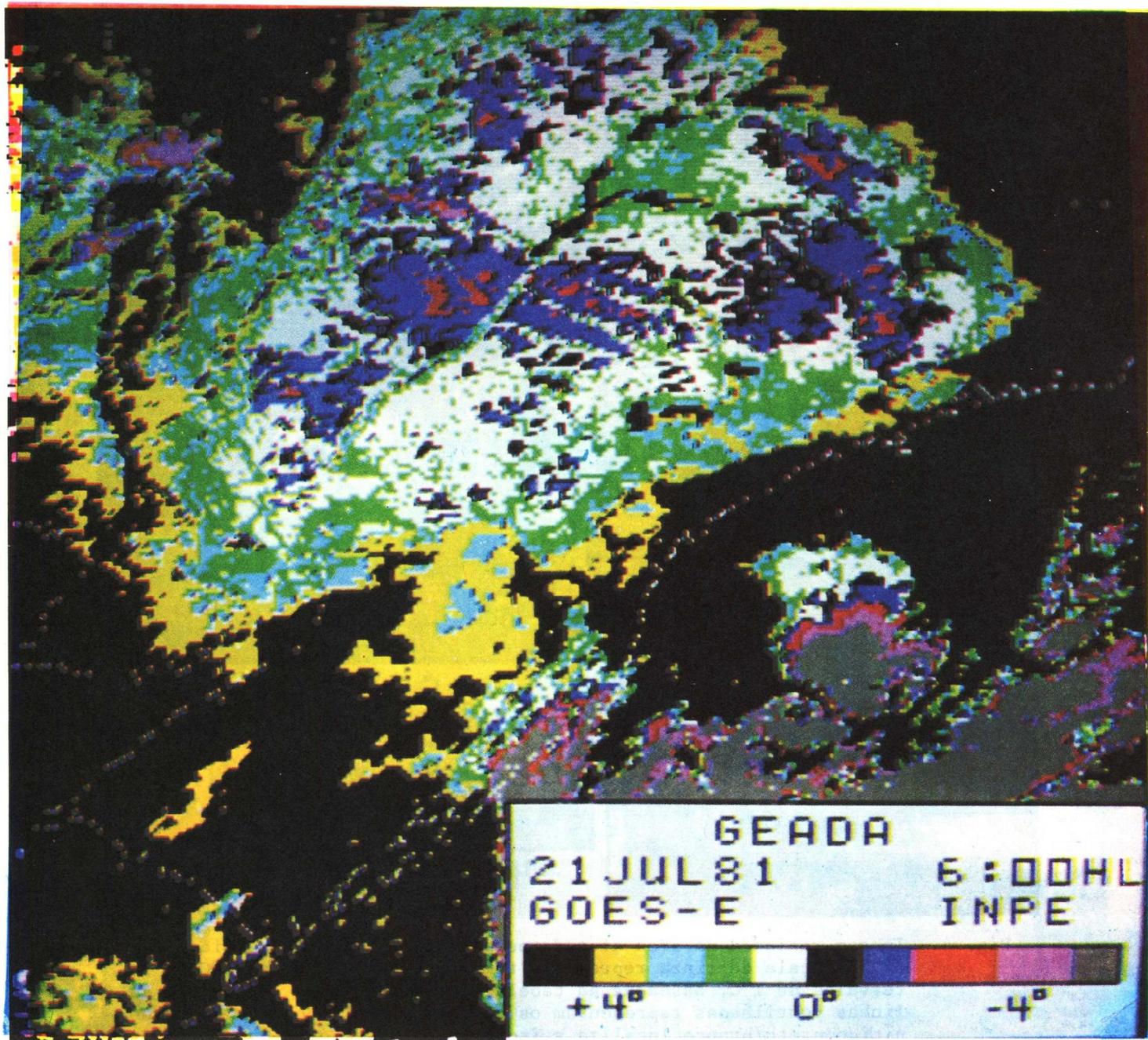


Fig. 5 - Imagem realçada em cores da temperatura da superfície terrestre, às 6:00 h local do dia 21/7/1981. A relação entre cor e temperatura é a seguinte:

Preto		>	+4°	Preto	-1°	a	0°
Amarelo	+3°	a	+4°	(dentro do branco)			
Azul-claro	+2°	a	+3°	Azul	-2°	a	-1°
Verde	+1°	a	+2°	Vermelho	-3°	a	-2°
Branco	0°	a	+1°	Roxo	-4°	a	-3°
				Cinza			nuvens

O efeito do nascer do sol, podia ser visto na imagem às 7:30 HL. As cores brilhantes definindo temperaturas mais frias desapareceram no Estado de São Paulo, enquanto elas continuaram em Mato Grosso, onde o sol ainda não tinha nascido.

Com o nascer do sol, foi possível obter a imagem no visível na Figura 3. Pode-se ver que a maior parte dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul encontra-se coberta por nuvens; isto provavelmente é responsável pela ausência de geadas nesses Estados. Outra razão pode ser a advecção de ar marítimo e quente no flanco sul do ciclone desprendido. De fato, essas nuvens baixas estavam mais quentes do que a superfície terrestre (debaixo do céu claro) ao norte, nos Estados do Paraná e São Paulo. Isto pode ser visto nas Figuras 2 e 5, onde os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul aparecem em preto.

É importante lembrar que as temperaturas sensoriadas pelo satélite correspondem a um valor integrado sobre uma área de 10 km x 10 km, ou 100 km², no melhor dos casos. Alguns pontos dentro da menor área ("pixel") devem ser mais frios que a média, ao passo que outros devem ser mais quentes. Portanto, se o satélite detecta uma temperatura de -3°C, para um "pixel", então talvez, as regiões mais baixas possam atingir temperaturas tão baixas quanto -6°C, e as mais altas, temperaturas de 0°C. Assim espera-se existir uma certa diferença entre os valores obtidos pelo satélite e os observados.

Outra fonte de erro é a absorção da radiação térmica pelo vapor d'água, que ocorre à medida que ela é emitida da superfície para o espaço. Este efeito faz com que a temperatura detectada pelo satélite pareça ser mais fria do que realmente é. Observou-se que este efeito foi virtualmente nulo durante o inverno de 1981, talvez porque as massas de ar eram extremamente secas. Investigações adicionais desse fator serão feitas.

4. DOCUMENTAÇÃO DA GEADA COM VERDADE TERRESTRE

Outro objetivo da operação inverno foi a comparação de temperatura, vista pelo satélite, com observações especiais em estações agrometeorológicas. Essas observações incluem a temperatura mínima no abrigo, a mínima de relva, a do solo em várias profundidades, o vento e a umidade relativa. As temperaturas mínimas do abrigo e da relva, no mesmo dia em que ocorre para as geadas, estão apresentadas na Tabela 1, para o Estado de São Paulo. Observa-se que:

- a geada foi muito mais severa em São Paulo do que no Paraná;

- a parte norte do Estado, principalmente a área perto de Ribeirão Preto, foi muito mais afetada;
- a geada no dia 22 foi menos intensa que no dia 21;
- a diferença entre as temperaturas de abrigo e de relva, na mesma estação, varia consideravelmente de uma estação para outra. Isto provavelmente é provocado por práticas de observações inconsistentes.

TABELA 1

TEMPERATURAS MÍNIMAS NO ESTADO DE SÃO PAULO NA MANHÃ DE 21 DE JULHO DE 1981

ESTAÇÃO	TEMPERATURA, °C	
	ABRIGO	RELVA
Ataliba Leonel	-0.3	-4.0
Campinas	0.2	-7.2
Cássia dos Coqueiros	-2.5	---
Cordeirópolis (Limeira)	-0.6	-6.0
Pindorama	-2.1	-10.2
Capão Bonito	-2.0	---
Itararé	-2.0	-2.0
Jau	-0.3	-6.0
Jundiá	-1.4	---
Mococa	-0.2	-4.6
Monte Alegre do Sul	0.0	-4.0
Pariquera-açú	4.8	1.6
Pindamonhangaba	-0.5	-2.2
Piracicaba	-1.0	---
Ribeirão Preto	-1.2	-8.2
Tatui	-1.0	-4.2
Tietê	0.8	-2.8
Ubatuba	7.4	3.0
Garça	-2.0	---

(O Instituto Agronômico de Campinas, SP, nos forneceu os dados da Tabela 1).

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho demonstrou a viabilidade de monitorar a área afetada pela geada e avaliar a intensidade da geada em tempo real, utilizando imagens de satélite especialmente registradas. A geada que ocorreu nos dias 20 e 21 de julho de 1981 afetou principalmente o Estado de São Paulo, o norte do Paraná, o sul do Mato Grosso do Sul e o sul de Minas Gerais, tendo sido a mais severa das geadas desde 1975 em algumas destas áreas.

Trabalhos a serem desenvolvidos no futuro incluem: a calibração das temperaturas observadas pelo satélite, com observações de verdade-terrestre; uma avaliação da área total registrada dentro de cada intervalo de temperatura; teste de outras tabelas de realce, que

possam ser mais precisas ou de mais fácil observação visual; e uma avaliação das condições sinóticas e topográficas, responsáveis pela distribuição de temperaturas observadas em 21 de julho.

Finalmente, o objetivo maior é desenvolver, testar e tornar operacional, um modelo físico/estatístico de previsão da marcha da temperatura em várias localizações-chaves, durante uma noite de possível geada, dada uma sequência de imagens de satélite e observações de terra, obtidas anteriormente. Este modelo será baseado no modelo de Sutherland (1980) e incorporará muitas das técnicas de obtenção de dados e visualização em tela de TV, usada por Sutherland et alii (1979).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FORTUNE, M.A. *The Severity of the Brazilian Freeze of July 1981, as Monitored by Satellite*. São José dos Campos, INPE, Sept. 1981. 19 p. (INPE-2231-RPE/399).
- FORTUNE, M.A.; KOUSKY, V.E. *Precursors of two Severe Freezes in Brazil*. São José dos Campos, INPE, Feb. 1982. 51 p. (INPE-2342-RPE/086). Submetido ao *Monthly Weather Review*.
- MOLION, L.C.B.; FERREIRA, N.J.; E MEIRA FILHO, L.G. *O uso de Satélites Ambientais para Monitoramento de Geada*. São José dos Campos, INPE, 1981. 15 p. (INPE-2128-PRE/352).
- SUTHERLAND, R.A.; et alii. *A Real-Time Satellite Data Acquisition, Analysis and Display System - a Practical Application of the GOES Network*. *J. Applied Meteorology*, 18(3):355-360, 1979.
- SUTHERLAND, R.A. *Short-Range Objective Nocturnal Temperature Forecasting Models*. *J. Applied Meteorology*, 19(3):247-255, 1980.