

OPERAÇÃO INVERNO - O USO DE SATÉLITES NA DETECÇÃO
E ACOMPANHAMENTO DE GEADAS

FAUSTO C. DE ALMEIDA
MICHAEL A. FORTUNE
IRACEMA F.A. CAVALCANTI

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO -
CNPq
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP

RESUMO

A importância de conhecer a severidade de uma geada objetivamente e em tempo real é bem avaliada pelos agricultores ou responsáveis pelo setor agrícola quando tentam salvar as suas áreas cultivadas ou pelo menos minimizar os efeitos econômicos do fenômeno. Com a utilização de imagens obtidas pelo canal infravermelho a bordo dos satélites GOES, pode-se inferir o campo de temperatura na superfície terrestre a cada meia hora, com resolução de aproximadamente 10 km. O INPE, com a colaboração de institutos agrônômicos de três estados (IASC, IAPAR, IPAGRO), está desenvolvendo o projeto geada no qual a cada inverno é realizada a "Operação Inverno". Esta tem por objetivo demonstrar operacionalmente a viabilidade de detectar, acompanhar e disseminar, de forma apropriada, ao usuário final a ocorrência, localização e severidade de geadas em tempo real utilizando satélites meteorológicos. Neste trabalho é apresentada a estrutura operacional necessária a ativação de uma "Operação Inverno", bem como os resultados já obtidos nas operações realizadas. São apresentadas imagens realçadas e mapas térmicos para duas geadas ocorridas em 1982, analisados em tempo real, o que evidencia ser possível o acompanhamento da evolução e localização de tais ocorrências. Um modelo de previsão do campo de temperatura e um modelo de avaliação imediata dos danos causados a uma dada cultura (a partir de imagens gravadas) estão sendo desenvolvidos para implantação nos próximos invernos, em adição aos métodos já utilizados.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento objetivo da severidade de uma geada é de grande importância para os agricultores, ou responsáveis pelo setor agrícola, quando estes tentam minimizar os efeitos econômicos do fenômeno.

Devido às características de resolução temporal (30 min) e espacial (8 x 8 km) do canal infravermelho do satélite GOES, é bem reconhecida sua viabilidade para monitorar fenômenos como geada (Sutherland et alii, 1979). Os sensores do canal infravermelho são capazes de inferir temperaturas dos topos de nuvens ou da superfície terrestre. Como o fenômeno geada está normalmente associado à ausência de nebulosidade sobre a região atingida, torna-se possível monitorar temperaturas da superfície da terra em noites com tal ocorrência (Fortune, 1981).

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), em colaboração com outras instituições ligadas ao setor agrícola, está desenvolvendo o projeto GEADA (DAM/INPE, 1982). A cada inverno é realizada a "Operação Inverno", que tem como objetivo demonstrar operacionalmente a viabilidade de detectar, acompanhar e disseminar, de forma apropriada, ao usuário final a ocorrência, localização e severidade de geadas, em tempo real, utilizando satélites meteorológicos.

Neste trabalho é apresentada a estrutura operacional necessária à Operação Inverno, seus procedimentos e resultados obtidos das operações já realizadas. Tenta-se chamar a atenção para a potencialidade da técnica utilizada, em benefício do setor agrícola, assim como suas vantagens e desvantagens. Ressalta-se também que as técnicas de interpretação de imagens de satélite devem ser implementadas na prática para que elas se tornem confiáveis e de maior valor econômico.

2. ESTRUTURA OPERACIONAL

Na Figura 1 é mostrado o fluxo operacional de uma operação inverno, onde são também indicados os equipamentos utilizados. As linhas cheias indicam conexões diretas entre equipamentos, enquanto as linhas pontilhadas indicam algum tipo de intervenção do operador.

Antes que uma Operação de Inverno seja declarada operacional, são emitidos alertas internos em dois níveis, a saber: "possível" geada e "provável" geada, explicadas na seção 4. São então a Operação Inverno é ativada.

Os sinais do satélite GOES são recebidos na estação receptora do INPE em São José dos Campos. Estes sinais são então enviados à Unidade de Análise de Imagem (UAI), um sistema desenvolvido no INPE que é capaz de setorizar e armazenar em memória a imagem recebida (Camilli, 1981). Esta imagem é então mostrada em dois monitores de TV, um preto e branco (analógico) e outro em cores (digital). Através de uma câmera fotográfica, podem se obter fotos das telas dos monitores.

Uma segunda alternativa para a produção de imagens em papel fotográfico, como mostra a Figura 1, é o uso de um computador.

dor (PDP-11) e de um imageador a laser (VIZIR). Outra maneira é a gravação da imagem digital em fita magnética e posterior reprodução via PDP-11. Esta mesma fita pode ser utilizada em um computador de grande porte (B-6.800) para a produção de mapas térmicos, mapas de danos a culturas, modelos de previsão a curtíssimo prazo; e posteriormente é arquivada para futuras análises.

Durante a Operação Inverno, as fotos produzidas (via UAI ou PDP-11) são então enviadas em tempo quase real aos usuários, através de canais telefônicos convencionais utilizando por exemplo, (ver Figura 1) uma tele-foto-copiadora (NEFAX). Cada usuário, para receber esta informação (foto), deve possuir uma tele-foto-copiadora própria que se conecta de modo simples à rede telefônica (Garrido e Oliveira, 1981). Nota-se, ao observar a Figura 1, que existem modos paralelos de obter a imagem que será enviada ao usuário, o que garante assim a operacionalidade do sistema.

Como será visto adiante, cada sistema tem suas características próprias com respeito à produção das imagens realçadas; a imagem colorida, por exemplo, é característica única do UAI; a resolução e o melhor contraste são obtidos pelo VIZIR, e a impressão detalhada, em papel, dos sinais digitais é obtida via B-6.800. O importante é a redundância oferecida pelo sistema montado, o qual garante uma operação confiável.

É importante observar também que, no esquema seguido durante a Operação Inverno, a participação de instituições ligadas ao setor agrícola é essencial, não só do ponto de vista de desenvolvimento do sistema de disseminação das informações, como também do desenvolvimento dos algoritmos de calibração e interpretações.

3. IMAGENS REALÇADAS

As imagens transmitidas por satélite no canal infravermelho permitem relacionar níveis de cinza com temperaturas. Uma imagem normalmente contém 256 níveis de cinza, os quais representam temperaturas no intervalo de +570 C a -1100 C. Com a finalidade de ressaltar as temperaturas da superfície do solo, em particular, aquelas em que ocorre a geada (perto de 00 C), é feita uma limitação no intervalo de temperatura a serem representadas nas imagens. Assim, pode-se estabelecer um intervalo desejado de temperatura, por exemplo, de +40 a -40 C, no qual alguns níveis de cinza são atribuídos a intervalos bem definidos de temperatura. Nas imagens, as temperaturas que estão abaixo do limite inferior desejado e as temperaturas que estão acima do limite superior aparecem com tons diferentes daqueles existentes no intervalo estipulado. Dessa forma, as imagens realçam as temperaturas de interesse; são por isso, chamadas imagens realçadas...

Em virtude dos efeitos que a atmosfera introduz na transmissão de radiação térmica da superfície terrestre até o satélite, as temperaturas representadas pelos níveis de cinza deve, ser

corrigidas. Outra fonte de erro na interpretação dos níveis de cinza é consequência da resolução do satélite. A máxima resolução é de 8 x 8 km; na análise das temperaturas de regiões, por exemplo, entre vales e montanhas, o efeito da topografia deve ser levado em conta.

Para calibrar os valores fornecidos pelo satélite, dentro das limitações existentes, estes são comparados com as temperaturas medidas na superfície (temperatura mínima de abrigo e na relva), que fazem parte da chamada verdade terrestre.

Em imagem no infravermelho, as temperaturas baixas da superfície terrestre podem ser confundidas com as temperaturas do topo de nuvens baixas. Para eliminar essa confusão, é necessário o utilizar imagens do canal visível, que fornecem a refletividade das superfícies. É possível, assim, distinguir regiões com nuvens de regiões sem elas. Infelizmente a confirmação da presença de nuvens desta maneira só é possível após o nascer do sol, quando há iluminação suficiente.

4. OPERAÇÃO INVERNO

A primeira operação inverno ocorreu em 1981, quando teve continuidade o projeto GEADA iniciado em 1980. A ampliação deste projeto em 1982 teve várias finalidades. São elas: destinar produtos finais a usuários em tempo quase real; testar sistemas redundantes de processamento de imagem para aumentar a confiabilidade na obtenção destas; e interagir com institutos agrônomicos através da troca de informações de temperaturas da superfície terrestre.

Na operação inverno, a gravação de imagens realçadas é iniciada após ser dado um aviso de alerta para a provável ocorrência de geadas. Isto ocorre após a análise da situação sinótica e regional, utilizando-se imagens transmitidas por satélite, cartas à superfície, radiossondagens e análises numéricas feitas pelo National Meteorological Center (USA), recebidas pelo INPE diariamente.

Algumas etapas são seguidas antes de ser decretado o estado de alerta. Com base nas análises realizadas diariamente, estuda-se a possibilidade da ocorrência de geadas nos dias posteriores. Se há possibilidade, imediatamente a análise é intensificada para determinar a probabilidade da ocorrência no próximo dia. Pelo resultado das análises é dado ou não o alerta para o início da operação. Feito o alerta de provável geada no período da tarde (até 15:30 HL), às 21:00 HL do mesmo dia tem início a gravação das imagens realçadas de hora em hora. Essas gravações se estendem até 8:00 HL do dia seguinte, quando é gravada uma imagem no canal visível para verificar a cobertura de nuvens na região de interesse.

4.1. MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DE IMAGENS REALÇADAS

a) Método 1 - Obtenção direta de imagens realçadas em fotografias

Usando o imageador VIZIR representado na Figura 1, é obtida uma fotografia realçada da região de interesse, que destaca a área de ocorrência da geada. Essas fotografias, confeccionadas de hora em hora, podem ser transmitidas aos usuários por via telefônica utilizando o aparelho NEFAX (Figura 1).

Para a representação do campo de temperatura, a experiência demonstrou que uma imagem realçada com 5 níveis de cinza é suficiente. Quando estas imagens são transmitidas pela NEFAX, é necessário levar em conta o problema da perda de informações na transmissão. Vários testes foram realizados para escolher o número ótimo de tons de cinza, mais precisamente, escolher a "curva de realce" que melhor satisfizesse as condições de representatividade e reprodução do campo de temperatura via NEFAX. Verificou-se que três níveis de cinza eram de rápida interpretação e apresentavam-se ainda distintos quando recebidos via NEFAX.

b) Método 2 - Uso da Unidade de Análise de Imagens (UAI)

O sistema UAI permite a gravação de imagens em tempo real em uma tela de televisão em preto e branco, onde os níveis de cinza nas imagens no infravermelho relacionam-se com temperaturas, ou em uma tela colorida, onde as temperaturas são relacionadas com cores falsas.

O realce das imagens é feito para a tela colorida, onde cada cor representa um intervalo de temperatura bem definido. Pode ser feita uma animação com até 6 dessas imagens em sequência, o que possibilita verificar o deslocamento dos campos de temperatura.

As gravações são feitas a cada meia hora, e as fotografias são tiradas das telas; estas gravações podem também ser transmitidas aos usuários da mesma forma como mencionado no método 1 e ilustrado na Figura 1.

c) Método 3 - Gravação de Imagens em Fita Magnética

Gravações em fita magnética do sinal do satélite são feitas em intervalos de 1 hora. Esses dados de imagens no infravermelho podem ser analisados posteriormente com a ajuda de computadores (ver Figura 1), para a obtenção de imagens realçadas em fotografias já ampliadas ou para a impressão em papel dos valores de temperatura. Em ambos os casos, a distribuição geográfica das temperaturas mais prejudiciais à agricultura é destacada.

Embora os 3 métodos descritos tenham como produto final i

imagens realçadas, cada um deles é usado independentemente. As imagens realçadas no UAI possibilitam a visualização instantânea e a progressão no tempo das áreas atingidas. As imagens realçadas diretamente em papel fotográfico são usadas para transmissão aos usuários; a gravação em fita magnética de imagens digitais, colocada no arquivo de dados, guarda todas as informações da imagem original, permitindo análises posteriores, como por exemplo confecção de mapas de temperatura, mapas de danos causados a uma cultura específica, mapas de previsões de temperaturas mínimas a curtíssimo prazo.

4.2. ATIVIDADES PARALELAS À GRAVAÇÃO DAS IMAGENS

São feitas análises de superfície com dados da rede sinótica do INMET das 21:00 HL, em que se toma conhecimento das mais recentes temperaturas medidas e do progresso da situação sinótica.

Imagens realçadas obtidas pelos métodos 1 ou 2 podem ser enviadas para os usuários via telefone. Com esse sistema, os usuários podem saber em tempo quase-real os locais de ocorrência de geada e tomar as necessárias providências. Especificações para interpretação das imagens realçadas acompanham a transmissão.

Em virtude da ausência de aparelhos NEFAX nos institutos usuários em 1982, estes ainda não puderam recebê-las. Entretanto as imagens foram enviadas pelo "NEFAX" via telefone a outro aparelho "NEFAX" internamente, mostrando a viabilidade do processo.

As temperaturas mínimas e as temperaturas de hora em hora são coletadas nas regiões atingidas e, na manhã seguinte, enviadas ao INPE via telefone pelos institutos colaboradores. Estes, adicionados ao campo de temperatura obtido através do satélite, completam a documentação da geada, além de servirem para calibrar as temperaturas medidas pelo sensor do satélite.

4.3. COMPARAÇÃO COM A VERDADE TERRESTRE NO CASO DE 30 DE JULHO DE 1982

Como mencionado anteriormente, as medidas de temperatura inferidas pelo satélite necessitam de calibração para correção dos efeitos atmosféricos e topográficos.

Para ilustrar estes efeitos, são apresentadas na Tabela 1 resultados preliminares das temperaturas inferidas pelo satélite para a imagem das 05:30 HL do dia 30 de julho de 1982 e as temperaturas mínimas observadas nas estações agroclimáticas dos institutos colaboradores (IAPAR e IPAGRO) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Estas temperaturas mínimas são observadas nos abrigos meteorológicos e/ou na relva. Como se pode observar, para alguns casos existem discrepâncias entre duas medidas. Uma das causas

desta discrepância é a não-coincidência dos horários de observação com os horários em que houve medidas pelo satélite. Outra causa para essa diferença é o efeito de absorção de radiação pelo vapor d'água, existente na atmosfera que influencia a medida de radiação do canal infravermelho e, conseqüentemente, a temperatura inferida desta medida. Este efeito é no sentido de diminuir a temperatura observada pelo satélite em relação à temperatura do solo. Outro fator importante é o efeito topográfico. Como o satélite integra as observações de radiação para uma área da ordem de 64 km², é necessário corrigir a temperatura inferida pelo satélite. Isto deve ser feito para que a temperatura medida não seja uma média de temperaturas entre vales e montanhas, rios e superfícies cultivadas e outras diferenças de terreno e, certamente, de temperaturas. Estes problemas estão sendo desenvolvidos para a incorporação destas correções nos campos de temperatura inferidos via satélite.

5. OUTROS PRODUTOS

Além dos produtos apresentados nas seções anteriores, a Figura 1 ilustra a possibilidade de utilizar fitas magnéticas gravadas (imagem digitais) para processamento em computador. Os produtos resultantes deste processamento consistem, entre outros em mapas térmicos, mapas de danos causados a uma dada cultura, confecção de fitas para arquivo, mapas de previsão a curtíssimo prazo do campo de temperatura.

Como exemplo, é apresentado no Congresso um mapa térmico para a geada do dia 30 de julho de 1982, onde as temperaturas inferidas das imagens obtidas no canal infravermelho são processadas em computador (B.6800) e apresentadas como mapas confeccionados pela impressora. Podem-se notar contornos dos rios Paraguai e Paraná, além dos contornos de nuvens e do litoral. A vantagem desse tipo de produto é sua especialização: um mapa deste tipo pode ser especializado para uma dada região de interesse, onde contornos políticos podem ser superpostos, além de possibilitar a localização de cidades e outras características importantes à identificação das regiões afetadas pela geada. Programas de processamento das imagens digitais gravadas em fita magnética para estas finalidades estão sendo desenvolvidos, como por exemplo o programa de navegação (Conforte alii, 1982).

Nota-se que, da mesma forma que os mapas térmicos são produzidos a partir das temperaturas observadas durante a noite de geada, mapa de danos causados a uma dada cultura podem também ser confeccionados. Para isto é necessário conhecer a função que define os "danos" em relação à intensidade e duração (severidade) de uma geada e da fitossanidade da cultura em estudo, na época de ocorrência da geada.

Para utilizar todo o potencial de observação do satélite (imagens de 30 em 30 minutos), pode-se desenvolver um modelo de previsão do campo de temperaturas (Sutherland, 1980), e gerar ma

pas de previsão. Estes mapas são, então, monitorados e sempre que necessário corrigidos pela observação das temperaturas inferidas das imagens no canal infravermelho. Com as fitas gravadas (imagens digitais) e com o modelo de previsão, o computador elaboraria mapas térmicos e mapas de previsão para a noite da geada. Estes mapas poderiam ser transmitidos, via NEFAX a todos os usuários interessados (Figura 1), para serem utilizados como guias nas decisões de ativar os esquemas de proteção. Da mesma forma, os "mapas de danos" poderiam ser transmitidos a outros grupos de usuários interessados em decisões de âmbito gerencial e financeiro, no que se refere aos produtos agrícolas.

6. RESULTADOS PRELIMINARES DA OPERAÇÃO INVERNO 1982

Embora o inverno de 1982 tenha sido bastante moderado, não havendo notícias de grandes prejuízos no setor agrícola, a operação inverno foi ativada algumas vezes durante o período, ou para testes ou para uma operação efetiva em noites frias. Para este trabalho foram escolhidos dois casos. No primeiro, uma geada muito leve na região da fronteira entre Brasil e Uruguai, em que é ilustrado não somente o monitoramento de hora em hora, mas também os problemas de interpretação que frequentemente surgem. O segundo caso é de uma geada moderada que ocorreu em Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul. Com esses exemplos pretende-se demonstrar as informações que cada tipo de imagem e o processamento de um conjunto de imagens e dados pode fornecer.

6.1 MONITORAMENTO DA NOITE FRIA DE 16 A 17 DE JUNHO DE 1982

Análises sinóticas feitas em 15 e 16 de junho revelaram que uma geada poderia ocorrer no extremo sul do Brasil, na noite do dia 16 para 17. Como parte da operação inverno, descrita anteriormente, foi declarado "alerta" e a operação iniciada na tarde do dia 16.

É conveniente iniciar esta discussão, mostrando as imagens obtidas no início e no fim da noite em estudo. A Figura 2 mostra a imagem não realçada no canal infravermelho da área a ser monitorada, obtida às 21:00¹. A letra a, nesta Figura, indica a área de ocorrência da geada, que aparenta ter céu limpo. Com exceção das áreas em b, onde se observam nuvens médias que vieram a cobrir o Uruguai durante a noite, e em c, onde aparecem fragmentos de cirrus que se deslocariam para leste nos horários seguintes; o restante da imagem apresenta pouco contraste e conseqüentemente difícil interpretação da distribuição de temperaturas. Logo após o nascer do sol é possível distinguir as áreas nubladas das áreas descobertas observando uma imagem no canal visível (figura 3). Apenas uma pequena área em forma de

¹ todos os horários neste trabalho são do fuso horário do Brasil.

triângulo no sul do Rio Grande do Sul havia permanecido sem nuvens. As nuvens médias que estavam em b na Figura, chegaram a cobrir todo o Uruguai durante a noite. Ao norte do Triângulo, extensas nuvens baixas estavam presentes.

Para ressaltar o campo de temperatura na região de interesse, imagens no canal infravermelho foram realçadas e convertidas em fotografias. Isso foi feito de hora em hora naquela noite, para acompanhar a marcha do frio. A Figura 4 é uma montagem dessas imagens obtidas a cada hora para o setor indicado pelo retângulo na Figura 3. As áreas mais claras representam temperaturas mais baixas (neste caso, abaixo de $+2^{\circ}\text{C}$) enquanto as áreas mais escuras representam temperaturas mais altas. Pode-se notar que durante a noite a borda que separa as tonalidades D e E, a qual representa a isolinha de -4° avançou progressivamente para leste. Este fato representa o deslocamento da camada de nuvens médias, mencionada acima, que cobriu o Uruguai. A presença de pequenas áreas com tonalidade E, nas primeiras três fotos, sugere que pedaços de cirrus, vistos em c na Figura 2, passaram pelo Rio Grande do Sul e assim interferiram na interpretação do campo de temperaturas à superfície.

Ainda na Figura 4, outra mudança ocorrida durante o período, foi o gradual aparecimento dos tons escuros (A e B) na parte superior do setor, especialmente após às 2:00h. Se o céu estivesse sem nuvens, isso seria interpretado como evidência de um lento aquecimento à superfície, marchando do norte ao sul. Tal interpretação errada só ficou evidente com a obtenção da imagem visível (Figura 3) às 8:30h. Os tons escuros eram referentes aos topos de nuvens baixas, as quais aparentemente se deslocaram para a região analisada, durante a noite. Esses topos estavam mais quentes do que a própria superfície terrestre. Nem sempre se podem detectar nuvens baixas nas horas noturnas quando somente imagens no canal infravermelho são possíveis. Este e outros casos similares no inverno de 1982 demonstraram que é imprescindível obter uma imagem no visível na manhã seguinte à geada, para auxiliar a interpretação correta do campo de temperatura dado pelas imagens realçadas no canal infravermelho.

Apesar dos cuidados necessários na interpretação, ficou provado que se pode acompanhar o campo de temperatura em tempo real com os dados horários transmitidos por satélite. Além de acompanhar a situação, é desejável guardar os dados para analisá-los posteriormente. Como exemplo disso, é mostrada na figura 5 uma sequência de imagens obtidas para o mesmo setor e para a mesma noite de 16 para 17 de junho, realçadas por computador a partir dos dados gravados em fitas magnéticas (ver esquemas da Figura 1). A qualidade superior das fotos por esse processo é evidente. Experiências com outros casos de noites frias permitiram que se desenvolvesse um realce superior com intervalos de temperaturas selecionados de forma mais adequada e com tons de cinza melhor equilibrados, o que resultou em uma imagem realçada de bom contraste e conseqüentemente de mais fácil interpretação. Nesta sequência é fácil identificar os supostos pedaços

de cirrus onde a tonalidade E está presente. Uma banda preta persistente (localizada por setas no horário de 21:30) é o Vale Central do Rio Grande do Sul. Como o contorno nítido preto/branco representa exatamente a isolinha de 00 neste realce, fica claro que o vale permaneceu com temperaturas pouco acima de 00, enquanto nas vizinhanças as temperaturas caíram abaixo de 00. Finalmente, com a Figura 3 demonstrando que o céu realmente ficou limpo no "triângulo", e com a Figura 5 apresentando as tonalidades C e D bem delimitadas e variando pouco de hora em hora, tem-se mais certeza que a superfície realmente experimentou condições de congelamento naquele "triângulo" na madrugada do dia 17.

6.2 - MONITORAMENTO DA GEADA DE 30 DE JULHO DE 1982

A geada mais forte ocorrida no Brasil durante o inverno de 1982 foi a de 30 de julho, embora tenha sido um evento bastante moderado. Apresentam-se as análises e as imagens dessa geada com o propósito de mostrar as informações que cada produto da O peração Inverno pode fornecer.

A Figura 6 mostra uma imagem do Sul do Brasil obtida no canal infravermelho às 5:30h, um pouco antes do amanhecer. A foto aparece pouco contrastada, porque a variação de temperaturas vista nas superfícies terrestres ou marítimas é muito menor do que a dos topos vizinhos de nuvens. No Brasil, a temperatura do solo varia de 00 a +400, comumente, enquanto a dos topos das nuvens varia de -800 a +200. Consequentemente, uma foto no caso infravermelho de uma superfície sob céu claro apresenta pouco contraste. A região mais fria na Figura 6, em "a", apresenta um tom de cinza pouco mais claro que o da sua vizinhança. Certos traços geográficos, como o Rio Paraguai em "b", são mais distintos por serem consistentemente mais quentes que a superfície em volta. A única formação de nuvens vista sobre o continente, na Figura 6, é uma banda associada com a frente fria em "c" que inroduziu o ar polar.

Torna-se necessário, então, realçar as imagens para salientar os suaves contrastes de temperatura. A Figura 7 é o produto do realce da Figura 6, o mesmo realce usado na Figura 5 da seção anterior. Deve-se lembrar que um contorno nítido preto/branco divide as áreas subcongeladas em tons claros (c e d) das áreas não congeladas em tons escuros (a e b). Um tom de cinza médio (e) é atribuído a temperaturas fora da faixa de interesse; isto é, as temperaturas acima de +40C ou abaixo de -40C. Pode-se notar que a região que vai das serras situadas desde o norte de Porto Alegre até o sul do Paraná aparenta ter sofrido congelamento, e certas sub-regiões, indicadas em cinza-claro (tom d) chegaram a ter temperaturas de -20C a -40C. Todo o Sul do Brasil contido nesta foto, exceto o Vale Central do Rio Grande do Sul e o litoral, experimentou temperaturas mais frias que +40C.

Gravou-se uma imagem no visível para confirmar a localização de áreas desprovidas de nuvens (Figura 8). Para este caso ficou bem claro que o céu estava limpo nas áreas com geada. A única exceção é a presença de nevoeiros confinados nos vales de certos rios (B na Figura).

7 - AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram na execução da operação inverno de 1981, especialmente a participação eficiente do grupo de engenharia do Departamento de Meteorologia do INPE, assim como dos operadores do laboratório fotográfico. Agradecem também ao Sr. Nelson Jesus Ferreira a revisão do texto.

Sem a participação ativa do Instituto Agrônomo de Campinas, IAC; do Instituto Agrônomo do Paraná, IAPAR; e do Instituto de Pesquisas Agrônomicas do Rio Grande do Sul, IPAGRO; a operação não teria alcançado todos os seus objetivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMILLI, P. P. Armazenamento e análise de imagens em tempo real - Sistemas UAI. In: ALMEIDA, F.C. Curso de satélites meteorológicos - aplicações e foto-interpretação. Parte A. 1981.
- CONFORTE, J.C.; ARAI, N.; ALMEIDA, F.C. Navegação das imagens dos satélites meteorológicos geostacionários. São José dos Campos, INPE. (no prelo).
- DAM/INPE. Projeto Geada - Apresentação. São José dos Campos, 1982. (INPE-2435-NTE/186).
- FORTUNE, M.A. The severity of the Brazilian Freeze of July 1981 as monitored by satellite. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2231-RPE/399).
- GARRIDO, J.C.P.; OLIVEIRA, J.R. Disseminação de imagens de satélites meteorológicos por via telefônica. In: ALMEIDA, F.C. Curso de satélites meteorológicos - aplicações e foto-interpretação. Parte A. 1981.
- SUTHERLAND, R.A.; LANGFORD, J.L.; BARTHOLIC, J.F.; BILL, R.G.J. A real-time satellite data acquisition, analysis and display system - a practical application of the GOES network. Journal Applied Meteorology, 18(3):355-360, Mar. 1979.
- SUTHERLAND, R.A. Short-Range objective nocturnal temperature forecasting models. Journal Applied Meteorology, 19(3):249-255 Mar. 1980.

ABSTRACT

OPERATION WINTER: THE USE OF SATELLITES TO MONITOR
FROST IN BRAZIL

The importance of real-time awareness of the severity of a frost is appreciated by farmers and agribusiness alike when they attempt to save their crops or at least to minimize the untoward economic effects of frost damage. Images from the GOES satellites make it possible to monitor the temperature of the earth's surface every half hour, day or night, with a resolution of approximately 10 km, in the infrared channel. In collaboration with the agronomical institutes of three states in Brazil, INPE has been developing a frost-monitoring project that includes a special "Operation Winter" every cold season. Its purpose is to demonstrate the operational feasibility of detecting and immediately broadcasting the existence, location, and severity of freezing conditions, utilizing meteorological satellites. The equipment used and the procedures followed when a freeze alert is called are presented. Results from two frosts in 1982, including enhanced thermal imagery and temperature maps, are shown and discussed. Real time monitoring of the location and evolution of freezing conditions was indeed shown to be feasible in the 1982 experiments. In succeeding winters INPE plans to test a short-range (but very detailed) freeze-forecast model and also a crop damage model, both based primarily on remote sensing of temperature by satellite. Frost monitoring will continue, and it is hoped that the community of users will grow.

C.D.U.: 551.509.324:528.711.7(81)

TABELA 1

COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS BRUTAS OBSERVADAS ÀS 05:30H DE 30/7/1982 PELO SENSOR DO CANAL INFRAVERMELHO DO SATÉLITE GOES, COM AS TEMPERATURAS MÍNIMAS OBSERVADAS NO ABRIGO E NA RELVA DE VÁRIAS ESTAÇÕES DE IAPAR, IPAGRO E INEMET (ARREDONDADAS AO GRAU CENTÍGRADO MAIS PRÓXIMO)

ESTAÇÃO	SATÉLITE	ABRIGO	RELVA
Estações de IAPAR (Paraná)			
Guarapava	-2	-2	-4
Pato Branco	2	1	0
Palotina	4	2	0
Palmas	-1	-2	-7
Clevelândia	0	0	-2
Laranjeiras do Sul	1	0	-1
Ponta Grossa	2	0	-2
Cascavel	3	3	1
Londrina	6	4	2
Estações de IPAGRO (Rio Grande do Sul)			
Erexim	0	0	-4
Vacaria	-2	-1	-4
Veranópolis	3	1	-2
Júlio de Castilho	2	3	-1
Guaíba	4	3	0
São Borja	4	4	0
São Gabriel	4	4	0
Alegrete	3	2	-2
Estações de INEMET			
Paraná			
Irati	0	0	
Curitiba	3	4	
Santa Catarina			
Irai	3	3	
Campos Novos	-2	-	
Rio Grande do Sul			
São Luiz Gonzaga	4	4	
Bom Jesus	0	-1	
Uruguiana	4	4	
Santa Maria	4	2	
Porto Alegre	5	5	
Santana do Livramento	1	2	
Bage	2	1	

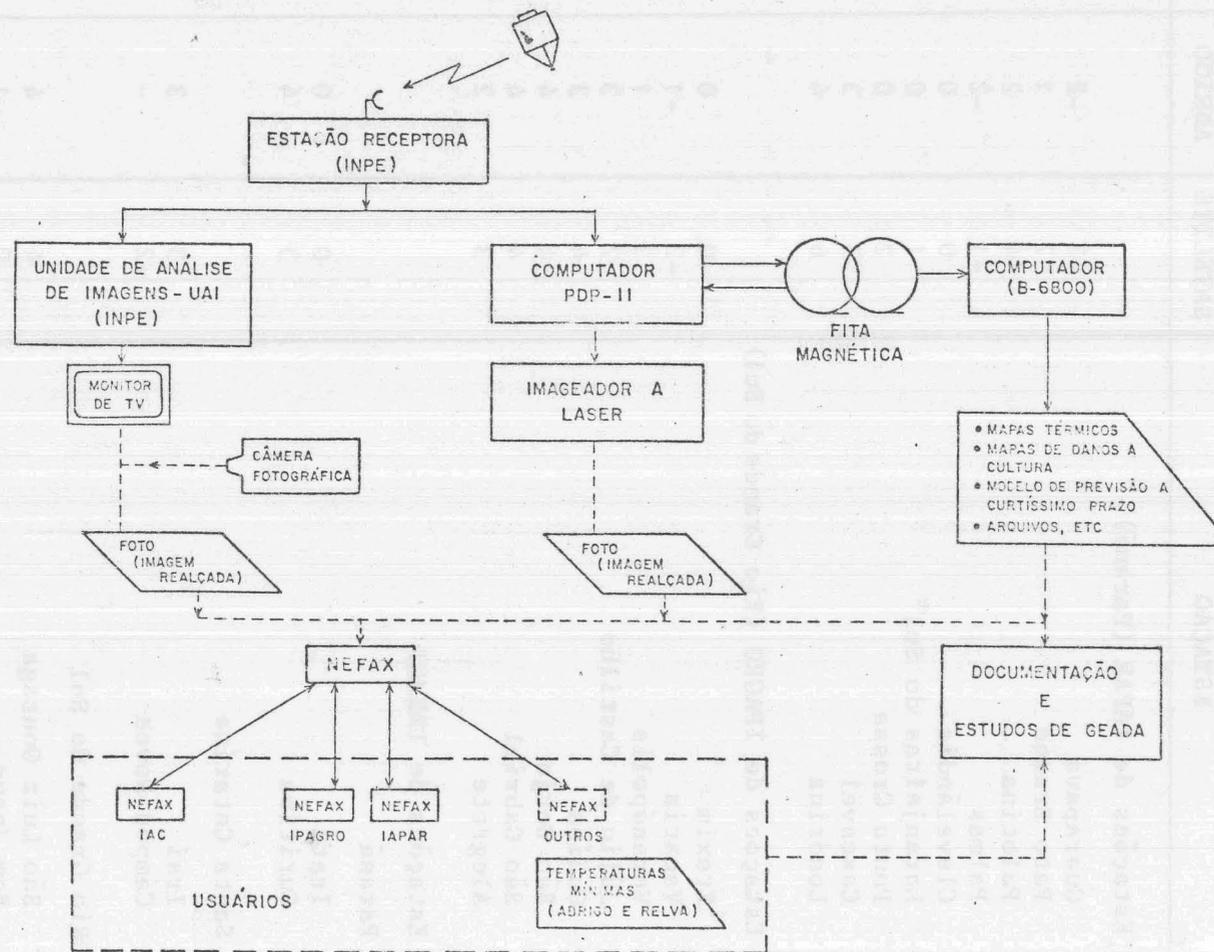


Fig. 1 - Diagrama de fluxo da Operação Inverso.

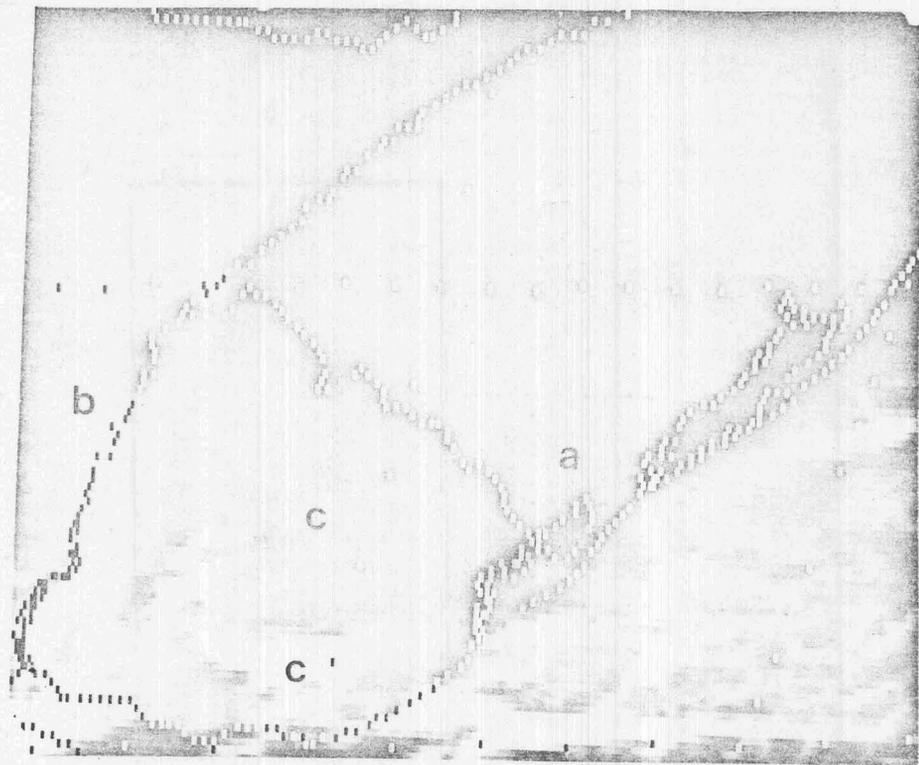


Fig. 2 - Imagem das 21:00h de 16/6/1982, no canal infravermelho, para as regiões do Rio Grande do Sul e do Uruguai.

- (a) região de ocorrência da geada.
- (b) camada de nuvens médias
- (c) fragmentos de círrus.

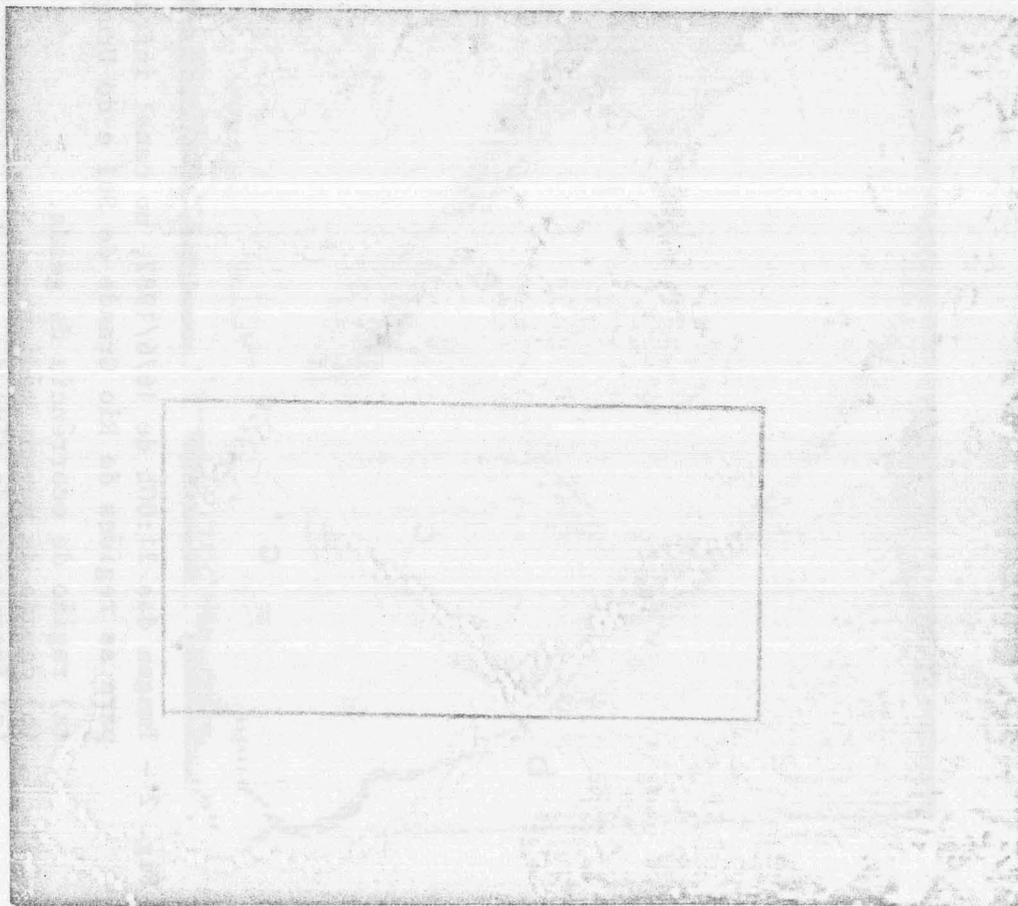


Fig. 3 - Imagem das 08:00 de 17/6/1982, no canal visível para a Região Sul do Brasil. O retângulo localiza o setor mostrado na sequência de imagens da Figura 4.

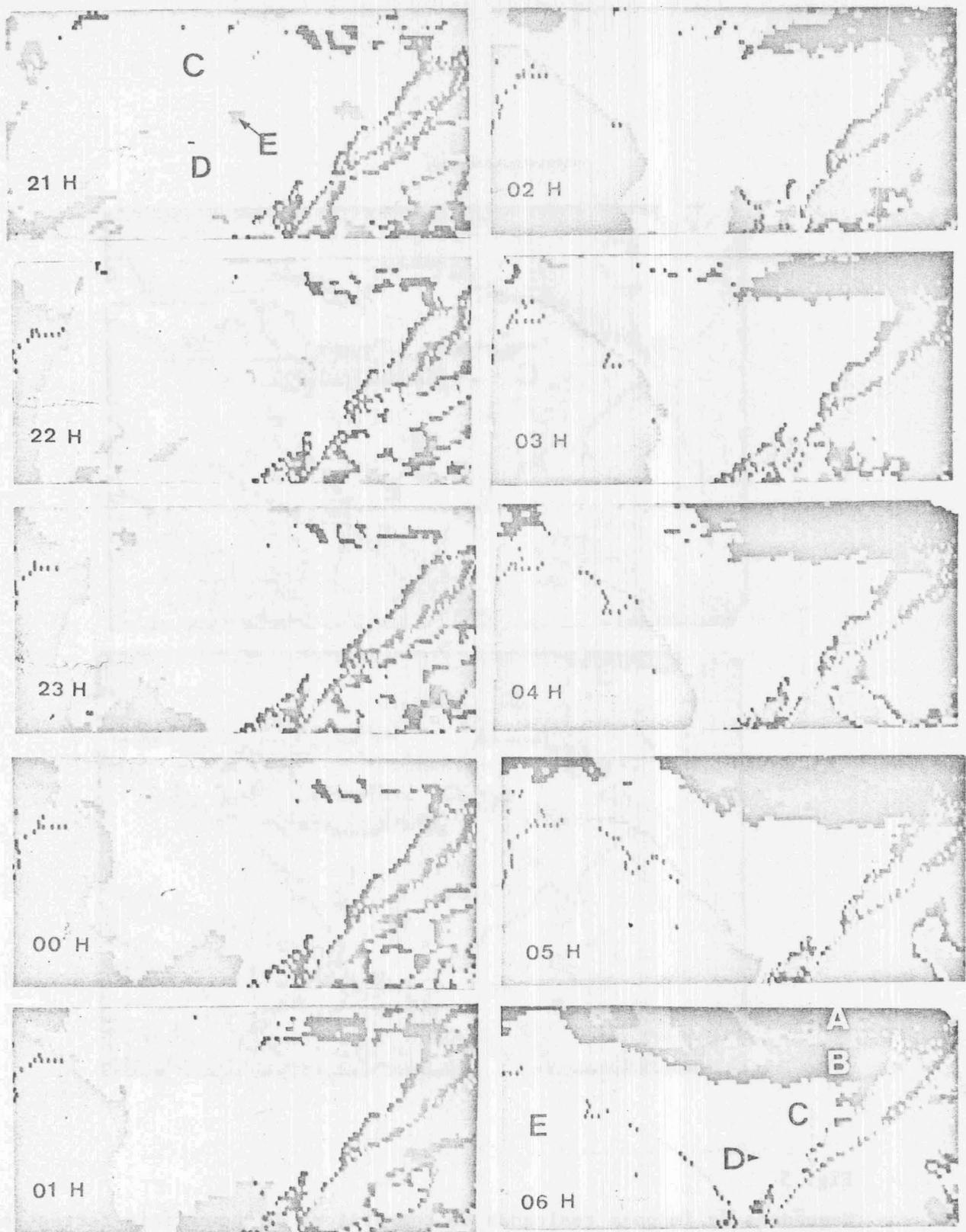


Fig. 4 - Sequência de imagens realçadas no infravermelho, da região da fronteira do Rio Grande do Sul com o Uruguai (ver a Figura 3 para localização). Imagens de hora em horas das 21:00 do dia 16 às 6:00h do dia 17 de junho de 1982. Na última foto, as letras identificam cinco tons de cinza que representam as seguintes temperaturas: cinza escuro(a): de $+8^{\circ}$ a $+5^{\circ}$; preto(b): de $+5^{\circ}$ a $+2^{\circ}$; branco(c): de $+2^{\circ}$ a -1° ; cinza claro (d): de -1° a -4° ; cinza-médio(e): temperatura fora da faixa térmica de interesse, ou seja, menos que -4° ou acima de $+8^{\circ}$.

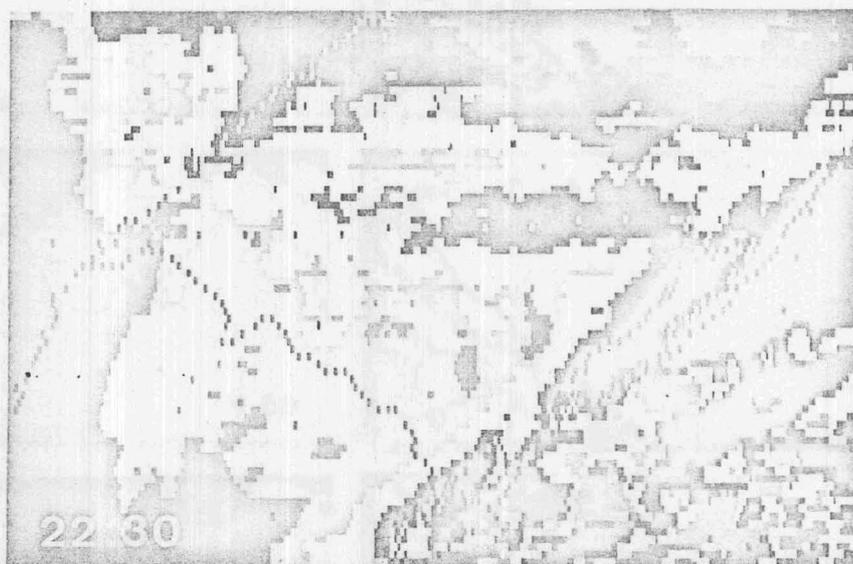
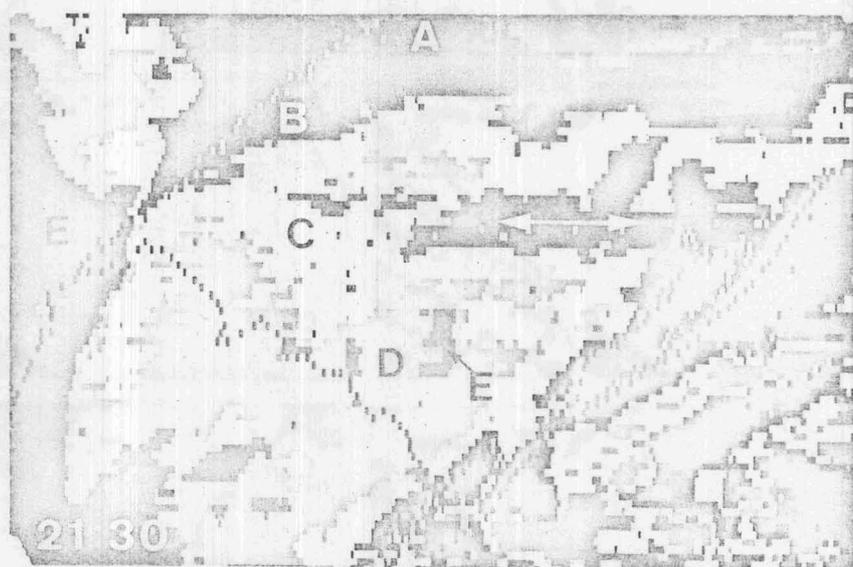


Fig. 5

Sequência de imagens realçadas da temperatura da superfície terrestre, para a região indicada na Figura 3, às 21:30, 22:30, 23:30, 0:30, e 2:30 horas da noite de 16 para 17 de junho de 1982. Os tons de cinza representam as seguintes temperaturas: cinza escuro (em A), de $+4^{\circ}$ a $+2^{\circ}$; preto (em B), de $+2^{\circ}$ a 0° ; branco (em C), de 0° a -2° ; cinza claro (em D), de -2° a -4° ; cinza médio (em E), fora da faixa térmica de interesse. A região escura que está paralela às setas é o Vale Central do Rio Grande do Sul.

(continua)



Fig. 5 - Conclusão.



Fig. 6 - Imagens, no infravermelho, do Sul do Brasil às 5:30h de 30/7/1982: (a) região com superfície terrestre mais fria; (b) Rio Paraguai; (c) nuvens espessas associadas a uma frente fria.



Fig. 7 - Imagem realçada no infravermelho, do sul do Brasil, às 5:30h de 30/7/1982.

Cinco tons de cinza, identificados por letras, representam as seguintes temperaturas da superfície terrestre:

Cinza-escuro	(A):	de $+4^{\circ}$ a $+2^{\circ}$,
Preto	(B):	de $+2^{\circ}$ a 0° ,
Branco	(C):	de 0° a -2° ,
Cinza-claro	(D):	de -2° a -4° ,
Cinza-médio	(E):	fora da faixa térmica de interesse.



Fig. 8 - Imagem no visível, do Sul do Brasil às 8:30h de 30/7/1982.

As áreas escuras indicam céu descoberto. Algumas formações de nuvens são indicadas por letras: A, cirrus fino; B, nevoeiro confinado aos vales de certos rios; C, nuvens baixas estratiformes; D, cumulus em células abertas sobre o mar.