

ELEMENTOS DE SENSORES REMOTOS E SUAS APLICAÇÕES

PLACIDINO M. FAGUNDES

JOÃO B. MACHADO

FERNANDO DE MENDONÇA

PUBLICAÇÃO LAFE-79

Setembro - 1968



PR - Conselho Nacional de Pesquisas  
Comissão Nacional de Atividades Espaciais  
São José dos Campos - SP



## INDICE

I	- INTRODUÇÃO .....	1
II	- DEFINIÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO .....	5
III	- ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO .....	11
IV	- SENSORES REMOTOS E SUAS APLICAÇÕES NO LEVANTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS .....	16
V	- CONCLUSÃO .....	31

## I - INTRODUÇÃO

Desde a Primeira Guerra Mundial, a fotografia aérea, utilizando a porção visível do espectro eletromagnético, tem sido aplicada a uma variedade de tarefas sempre crescente. Ao findar a Segunda Guerra Mundial, com a desmobilização de muitos interpretadores experimentados e, também, de uma grande quantidade de equipamento, aumentou repentinamente, o uso da fotografia aérea, tanto em quantidade como em finalidade. Além dos empregos militares clássicos, tornou-se, virtualmente, indispensável em aplicações políticas, econômicas e científicas. Dela, faz-se uso extensivo em cartografia, geologia, agricultura, análise e planejamento urbano e rural, arqueologia, etc....

Apesar da grande e crescente utilização da fotografia aérea, muitas das suas técnicas continuam como extensões modestas da capacidade visual humana. Têm sido desenvolvidos numerosos métodos de análise e de interpretação e a utilização de aeronaves de alta velocidade tornou-se comum; no entanto, o grau de utilidade prática da fotografia aérea permanece mais restrito do que é desejável. As principais restrições são:

- 1) as dificuldades da cobertura fotográfica de grandes áreas, dadas as limitações nas altitudes que se podem atingir em aeronaves convencionais e balões.
- 2) a incapacidade de investigar alguns parâmetros importantes, tais como temperatura e umidade.
- 3) a relativa lentidão na interpretação quando comparada com a presteza com que a informação é desejada e pode ser obtida.

O emprêgo de espaçonaves, colocadas em órbita em torno da terra, nas quais sejam postas em prática técnicas de

observação recentemente desenvolvidas, removerão ou reduzirão es as limitações. A possibilidade de observações feitas com satêli tes artificiais praticamente elimina a primeira das restrições. As técnicas de observação de que dispomos hoje permitem a produção de imagens do solo numa faixa muito ampla do espectro eletromagnético, incluindo ondas no ultravioleta, no visível, no infravermelho e nas microondas. As imagens obtidas em faixas espectrais até aqui pouco usadas, e a comparação de imagens tomadas, simultaneamente, em diferentes faixas espectrais, prometem aumentar a utilidade e aplicabilidade dêsses dados de duas maneiras. Em primeiro lugar, poderão fornecer novos tipos de informações cuja obtenção é impossível por meio da fotografia convencional. Por exemplo, o uso do infravermelho pode fornecer indicações sôbre a operação de fontes de energia naturais ou construídas pelo homem, e portanto permitir a elaboração de mapas termais. Além disso, a possibilidade de se registrar dados numa ampla variedade de regiões espectrais, pode tornar possível a descoberta de uma região em que haja discriminação entre objetos que não exibam diferenças discerníveis na região fotogrâfica. Em segundo lugar, o estudo comparativo de imagens obtidas em diferentes regiões espectrais, pode permitir um uso crescente de diferenças tonais e reduzir a dificuldade na interpretação de delicados detalhes, existente nos estudos baseados principalmente nas formas. Esta dificuldade é uma das razões primordiais da lentidão nos processos de interpretação atuais.

Além disso, a utilização de instrumentos em que se empregam dispositivos de varredura eletro-ótica ou ótico-mecânica, os quais produzem dados sob a forma de sinais elétricos, permite o processamento especial dêsses dados antes do seu registro em filme fotogrâfico ou fita magnética. Assim, por exemplo, as informações numa região espectral podem ser combinadas aditivamente com as de outra região formando-se uma única imagem - a que seria mais adequada para um determinado estudo.

Nos Estados Unidos, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) está, no momento, ativamente empenhada na investigação das possibilidades dessas técnicas e na execução de um amplo programa para o seu pleno desenvolvimento. Como parte desse programa, vêm sendo feitos estudos das aplicações potenciais de espaçonaves de observação em várias atividades científicas e econômicas, dando-se grande ênfase ao seu emprego no levantamento e controle de recursos naturais, tais como terras cultiváveis, florestas, águas e minerais, assunto de importância vital para o atendimento das necessidades de uma população mundial rapidamente crescente. Esses estudos têm identificado um grande número de usos potencialmente valiosos para técnicas de observação por espaçonaves. As aplicações, estudadas em considerável minúcia, incluem as que se situam nas áreas de Geografia, Agricultura, Silvicultura, Hidrologia, Caça e Pesca, Oceanografia, Geologia, Poluição do Ar e Arqueologia.

A fim de tornar efetivo qualquer programa de levantamento de recursos terrestres por satélites, é essencial a realização de um programa preliminar de experimentação pré-orbital utilizando-se aeronaves convencionais, de modo que os instrumentos de observação possam ser estudados e aperfeiçoados pela comparação dos dados por eles fornecidos com a "verdade no solo" cuidadosamente verificada em áreas de teste pré-estabelecidas.

Nessas áreas de teste, selecionadas como representativas de certos interesses técnicos ou científicos, deverão predominar características ou objetos típicos desses interesses, de forma que se possa determinar a capacidade dos instrumentos em detetar e identificar, a grandes distâncias, tais características ou objetos. Essas áreas deverão estar convenientemente guarnecidas com pessoal, equipadas com instrumentação e ter sido completamente levantadas a fim de que se disponha de elementos para realizar a análise dos dados obtidos a bordo de aeronaves e, mais tarde, de espaçonaves.

A preparação de áreas de teste e o programa de experimentação pré-orbital que acabamos de esboçar darão os fundamentos necessários para interpretação dos dados adquiridos durante o programa de experimentação orbital subsequente.

A grande massa de dados que surgirá tanto na fase preliminar como na orbital, deve ser tratada de maneira a ficar fácil e rapidamente ao alcance de todos os interessados. Nês se sentido deverão ser adotadas medidas eficientes e econômicas de processamento, arquivamento e distribuição dêsses dados.

O uso generalizado dessas novas técnicas tanto implicará numa demanda substancial de pessoal científico de interpretação, como, também, obrigará a utilização de sistemas automáticos de processamento e, mesmo, de interpretação automática de dados.

## II - DEFINIÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Permitimo-nos traduzir a expressão "remote sensing" como sensoriamento remoto, definindo-a como "a aquisição de informações sôbre objetos ou fenômenos específicos por intermêdio de um dispositivo coletor dessas informações - o sensor remoto - que esteja situado a uma distância apreciável do objeto da investigação". O sentido amplo dessa definição será então restrin-  
gido por condições impostas pela necessidade de redução do assunto a uma disciplina técnica maneável. Não obstante, ter o senso-  
riamento remoto suas raízes na antiguidade, seu desenvolvimento a-  
tingiu uma fase explosiva sob o ímpeto da moderna tecnologia es-  
pacial. As atuais aplicações de sensoriamento remoto repousam sô-  
bre uma larga base de física moderna.

A palavra senso implica em afastamento. A ave de rapina, sentindo a sua prêsa, procura reduzir o seu afastamen-  
to. A prêsa, pressentindo perigo, age em sentido oposto. O gato man-  
têm, cuidadosamente, uma distância respeitável do cão que ob-  
serva. O homem primitivo deveu sua sobrevivência diária aos seus sentidos, mantendo-se distanci-  
ado de garras e dentes.

As aplicações modernas do senso-  
riamento aumen-  
taram de muitas vêzes a grandeza da distância a que se pode ob-  
servar o objeto. Um sensor a bordo da espaçonave Mariner, por e-  
xemplo, recentemente pesquisou uma cratera em Marte. Essa infor-  
mação foi mais tarde transmitida à terra, distante de centenas de milhões de quilômetros.

### Restrições à Definição

Daqui por diante a significação do termo sen-  
sor será limitada a um detetor instrumental e não a seres huma-

nos. No seu sentido amplo, o correspondente de guerra acompanhando uma patrulha na floresta e o locutor esportivo num estádio de futebol, estão executando tarefas de sensoriamento remoto para o espectador em mangas de camisa defronte de sua televisão. O jornal, o telégrafo, a máquina fotográfica, o telefone, o rádio e a televisão cabem todos no conceito mais amplo de sensoriamento remoto. O termo, no entretanto, será arbitrariamente restringido a casos onde o ser humano não é parte essencial do detetor.

Durante centenas de anos o astrônomo vem usando o telescópio, o espectroscópio e o bolômetro para sondar as profundezas do espaço. Com a introdução de técnicas modernas tais como a interferometria e a rádio-astronomia, o astrônomo vem medindo a configuração, a massa, a energia, a temperatura e a composição química de todo o universo. Essas medidas vêm sendo feitas de dentro do observatório. Há muitos anos atrás, o planeta Marte foi fotografado em duas cores - vermelho e azul. As fotografias resultantes, superpostas, fornecem diferenças atribuídas à atmosfera marciana. O radar conduziu à novas descobertas astronômicas. Medidas das distâncias e de suas razões de variação a Mercúrio e a Venus desvendaram características insuspeitadas dos seus períodos de rotação. Apesar do sensoriamento remoto em astronomia remontar ao tempo de Galileo e sua luneta, nossa preocupação será aqui apenas com as modernas aplicações.

O termo sensoriamento remoto será reservado àquelas operações de medida onde o homem não possa, ou não deseje, aproximar-se daquilo que mede. Razões ponderáveis forçaram o homem, pelo menos inicialmente, a utilizar sondas ao invés de missões tripuladas para a exploração do espaço mais distante. Experimentos e provas arriscadas envolvendo altos explosivos, armas nucleares, radiação ou sistemas de propulsão de foguetes não experimentados, encorajaram os cientistas a desenvolver e usar sensores em áreas remotas onde não possam ir. O termo sensoriamento remoto pode ter o seu significado ainda mais restrito para situações onde tanto o sensor como aquilo que é medido estão em posi-

ções longínquas.

### Instrumentos Utilizados

Os instrumentos usados em sensoriamento remoto incluem todos aqueles que agem como substitutos, registradores ou amplificadores das funções animais especializadas da visão, audição, tato, olfato e paladar. Esses sensores reagem a estímulos físicos tais como a luz, o som, o calor, as vibrações ou as correntes elétricas. O sensor remoto registra e pode mesmo transmitir o sinal que receber. Obviamente poder-se-ia conceber um sensor para completar cada um dos cinco sentidos animais. Por exemplo, um robô perambulando numa paisagem lunar poderia súbitamente parar e examinar o solo. Um laboratório químico miniaturizado no seu interior poderia analisar o material e transmitir a informação ao controle na Terra. Um laboratório químico, no centro de controle, poderia atender e reproduzir completamente, incluindo sabor, cheiro, as substâncias químicas assim examinadas a quase meio milhão de quilômetros de distância. O sentido do tato poderia ser registrado como vibrações sentidas na pele metálica do robô. Esses sinais poderiam ser transmitidos a conversores localizados no corpo de um observador humano no centro de controle. Quando os estímulos elétricos transmitidos fossem reconvertidos em vibrações mecânicas, poder-se-ia fazer o observador, na Terra, sentir o impacto de micrometeoritos no substituto de seu corpo no espaço. Embora não sendo impossíveis essas aplicações aos sentidos do paladar, olfato e tato, os sensores remotos mais úteis continuarão sendo aqueles associados à visão e à audição.

Exemplos de sensores remotos acústicos especializados são os sismógrafos que assinalam o instante de chegada de ondas de terremotos, sismômetros que indicam a chegada de ondas sonoras produzidas por explosivos na crosta terrestre e hidrofones que prestam o mesmo serviço no fundo dos mares. Outros exemplos

incluem medidores de deformação e pressão que instrumentam as estruturas de aviões e mísseis em desenvolvimento e prova. O eco do sonar é usado para detetar corpos estranhos e medir profundidades do oceano.

Os sensores remotos são usados rotineiramente em muitas ocupações comuns. Um piloto aterriza seu avião com o auxílio de um radar. Um meteorologista, ou um guarda florestal, pode fazer uma viagem semanal para colher os registros do anemômetro, do termômetro e da câmara fotográfica que fornecem, respectivamente, a velocidade do vento, a temperatura e a cobertura de nuvens relativos a um pico de montanha. Um engenheiro pode carregar com sensores um protótipo de equipamento e testá-lo até à destruição. Um fotogrametrista pode fotografar a superfície da terra no propósito de compilar um mapa. Câmaras de reconhecimento podem ser instaladas em espaçonaves.

Os dados detetados por instrumentos remotos podem ser registrados em papel, fitas ou películas fotográficas. Esses registros podem ser coletados periodicamente. Os sensores remotos que produzem sinais elétricos, no entanto, podem transmitir seus dados, por fio ou rádio, diretamente a qualquer estação central de controle. A característica dos modernos sensores remotos é a coleta de montanhas de dados. A manipulação desses dados é um problema sempre crescente.

### Sensoriamento Remoto-Uma nova disciplina?

Considerando que a atividade de sensoriamento remoto se estende aos tempos históricos, por que falamos do termo como de uma nova disciplina científica?

O sensor remoto, como aqui está sendo definido, é uma dádiva da tecnologia moderna. A idade espacial tem demonstrado que o homem não necessita desembarcar na lua para levantar-lhe a paisagem, cavar uma amostra do solo lunar para análise ou

desempenhar outras tarefas extra-terrenas de natureza física e química. O sensoriamento remoto, permite ao cientista moderno permanecer na sua mesa de controle e aí executar o que deseja.

### Pré-requisitos Acadêmicos necessários

As fundações do sensoriamento remoto compreendem a maioria das disciplinas da física moderna. De fato, as observações que o homem tem feito sobre o mundo físico, por intermédio de seus sentidos, constituem a estrutura lógica de pensamento conhecida como Física. Os sensores remotos têm aguçado, ampliado e extendido os sentidos naturais do homem. Desprezando provisoriamente os sentidos do olfato e do paladar, restam os sentidos do tato, da audição e da visão associados a uma formidável estrutura de ciência física e de matemática aplicada.

O preparo necessário para compreender-se os fundamentos de sensoriamento remoto inclui conhecimento matemático de análise vetorial e equações diferenciais parciais, introduzindo-se à medida que se tornem necessários os conhecimentos adicionais de matemática avançada.

O estudo do sensoriamento remoto deveria começar pela consideração daquelas propriedades das vibrações e das ondas que têm importantes aplicações em acústica, radiação eletromagnética e mecânica quântica. Em seguida, deveriam ser estudadas as leis da termodinâmica, da mecânica dos fluidos e da radiação eletromagnética.

A mecânica da partícula e dos sistemas de partículas seria estudada como meio de atingir-se ordenadamente a compreensão do comportamento de um contínuo. Neste ponto estaria estabelecido um alicerce firme para o estudo de propagação de ondas através de fluidos e sólidos.

Os fundamentos da teoria eletromagnética seriam ministrados com cuidado pois o esforço principal em sensoriamen

to remoto envolve energia eletromagnética. As equações de Maxwell, que podem ser deduzidas por argumentos de plausibilidade baseadas em observações da eletrostática e de eletromagnetismo e são essenciais na compreensão do radar, também podem ser usadas como base da ótica clássica. Será necessária uma digressão pela mecânica quântica e pela estatística a fim de estabelecer os fundamentos de compreensão da lei de radiação do corpo negro. A teoria dos espectros de emissão molecular e de linha deve ser assimilada. Aquêles que lidam com sistemas ativos, tais como o radar, devem penetrar muito mais profundamente na teoria do eletromagnetismo.

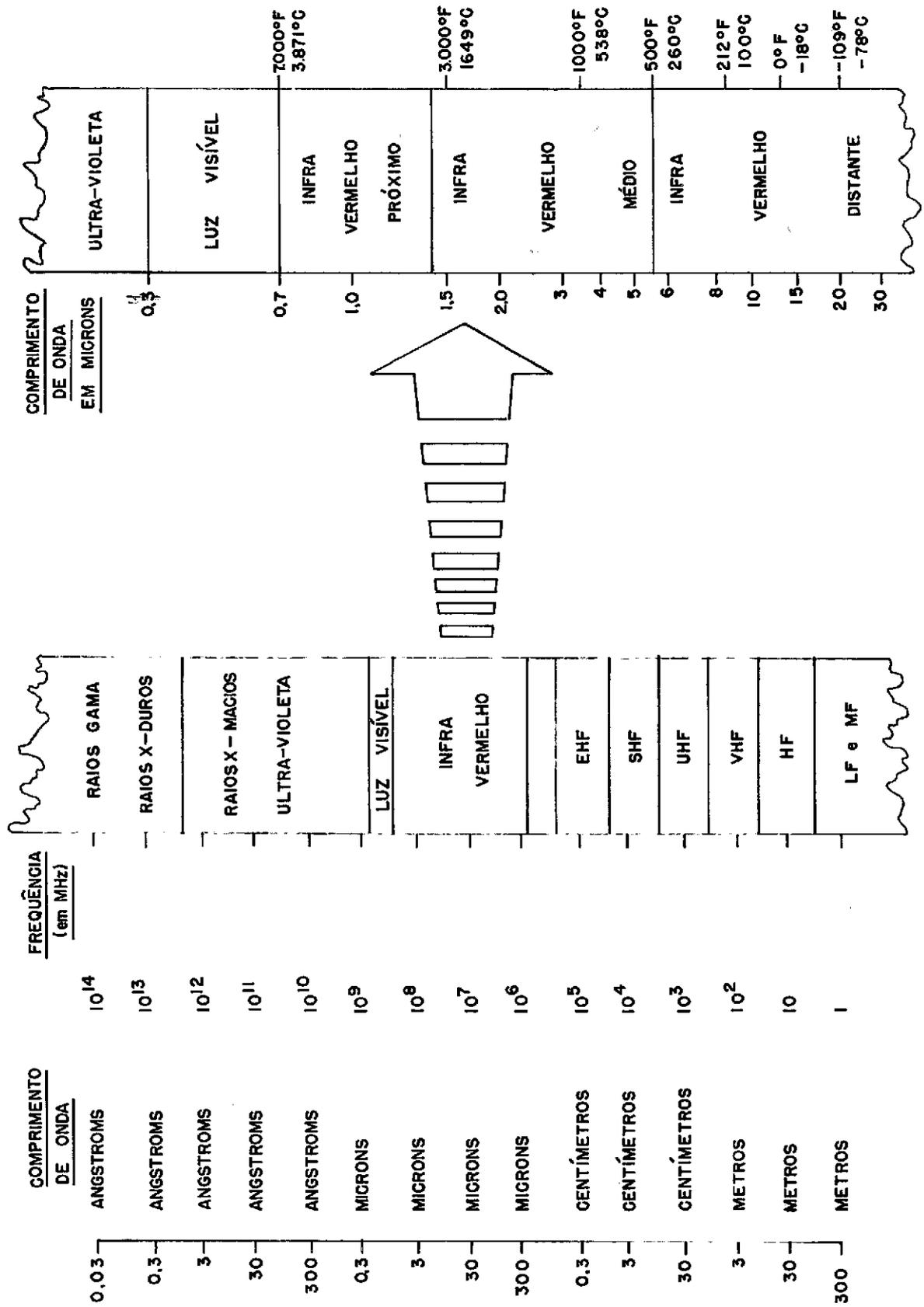
Finalizando esta introdução, mais uma vez repetimos que o termo sensoriamento remoto, introduzido no seu sentido mais amplo, teve o seu significado restringido pela necessidade de delimitar fronteiras de uma área sempre crescente de empreendimento técnico. Mesmo reduzido em seus propósitos o termo compreende a maioria das disciplinas da física moderna.

### III - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Tendo em vista que muitas vezes faremos referências ao espectro eletromagnético, aqui apresentaremos algumas considerações suscintas sobre o mencionado espectro.

A figura 1a mostra as várias faixas do espectro em termos de frequência (escala à esquerda) e comprimento de onda da radiação (escala à direita). A relação que existe entre frequência ( $f$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ) é dada por  $f \cdot \lambda = c$  onde  $c$  é a velocidade da luz. A unidade internacional de frequência é o Hertz (Hz) que corresponde a um ciclo por segundo. Seus múltiplos mais usados são: quilohertz (kHz= $10^3$  Hz), megahertz (MHz= $10^6$  Hz), gigahertz (GHz= $10^9$  Hz) e terahertz (THz= $10^{12}$  Hz). Para ondas com frequências superiores a este último valor costuma-se caracterizá-las pelo comprimento de onda para se evitar grandes números. De fato usa-se a unidade microm (μ=micrometro= $10^{-6}$  m) na faixa do infravermelho e do visível, e a angstrom (Å =  $10^{-8}$  cm= $10^{-10}$  m= $10^{-4}$  μ) nas faixas do visível, do ultra-violeta, dos raios -X e dos raios -γ. Também em física, radiações com comprimento de ondas inferiores a 100 angstroms, são normalmente caracterizadas por sua energia em eletron-volts (ev) ou seus múltiplos.

Começando-se pela parte superior da Fig. 1a, temos as radiações com frequências mais altas. Nesta publicação abordaremos sensores remotos que utilizem radiações em quase todas as faixas do espectro, mas com maior ênfase naquelas que utilizam ondas eletromagnéticas com comprimentos de onda maiores do que as do ultra-violeta. Parte da Fig. 1a é ampliada na Fig. 1b para mostrar as sub-faixas do infravermelho e a relação entre comprimento de onda e temperatura cinética. Falamos em temperaturas para chamar atenção para o fato que todos os corpos no universo constantemente emitem radiação no infravermelho desde que não es



TEMPERATURA

FIG. 1b

FIG. 1a

tejam a zero graus Kelvin ( $-273^{\circ}\text{C}$ ). Esta radiação é provocada pela agitação térmica das moléculas, sua natureza espontânea é interessante e importante. Um outro fato importante é que o comprimento de onda da radiação máxima emitida por um objeto é diretamente relacionado com sua temperatura. Assim sendo é possível medir-se a temperatura de um corpo com grande precisão sem contato direto com ele; apenas observa-se o comprimento de onda do pico de energia emitida. Quanto mais quente for um corpo mais energia no infravermelho ele irradiará. Além disso, quando a radiação infravermelha de um corpo atinge outro, ela induz calor neste por meio do aumento da agitação térmica das moléculas. No entanto, não devemos confundir radiação infravermelha com calor. Ela se propaga com grandes velocidades e a grandes distâncias como a luz e, como esta, também pode ser focalizada com sistemas óticos.

A Fig.2 mostra a relação entre energia irradiada e o comprimento de onda para várias temperaturas. A curva mais alta representa irradiação de um corpo, tal como o sol, com temperatura de  $6000^{\circ}\text{K}$  na superfície. O pico de radiação encontra-se na faixa do visível por volta de  $0,5\mu$ . A curva seguinte, para  $3000^{\circ}\text{K}$ , aproxima a radiação que se obtém do filamento de tungstênio quando super-aquecido nas lâmpadas comuns, onde se nota que o pico de radiação encontra-se no infravermelho ( $1\mu$ ). A cerca de  $800^{\circ}\text{K}$  um objeto deixa de emitir na faixa visível do espectro, mas sua radiação é facilmente detetável mesmo a certa distância pelo aquecimento que produz na palma da mão por exemplo. A curva de  $300^{\circ}\text{K}$ , cujo pico se encontra a  $10\mu$  é particularmente significativa porque o caso de objetos à temperatura ambiente ( $300^{\circ}\text{K}=27^{\circ}\text{C}$ ). A maior parte do estudo da radiometria no infravermelho concerne objetos cujos picos de radiações encontram-se no intervalo entre 8 e 13 microns do espectro. A curva de  $80^{\circ}\text{K}$  representa o caso de um corpo à temperatura do nitrogênio líquido e ilustra o fato de que, mesmo à temperaturas tão reduzidas, os objetos emitem radiação no infravermelho, se bem que em pequena quantidade

#### IV - SENSORES REMOTOS E SUAS APLICAÇÕES NO LEVANTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS

Seria de muito pouco interêsse a simples declaração de que os sensores remotos são amplamente aplicados no levantamento dos recursos naturais da terra pois, haveria sempre a dúvida quanto à versatilidade de cada um, quanto à maior ou menor eficiência deste ou daquele nas inúmeras disciplinas que tal levantamento ou inventário envolve.

As informações que se seguem, pretendem satisfazer essa curiosidade, embora de maneira suscinta para não tornar enfadonha a leitura aos que apenas desejam inteirar-se da efetiva aplicabilidade de cada um desses instrumentos.

Na enumeração dos sensores remotos já existentes para as diferentes faixas do espectro-eletromagnético, encontramos, logo de início, um dos sensores da mais relevante aplicação, dada a natureza das informações que proporciona. Trata-se do Sensor de Raios  $\gamma$  que supera de muito os seus congêneres já bastante conhecidos - os aero-cintilômetros. A tremenda sensibilidade que lhe empresta a bateria de cristais de iodeto de sódio ativado a tâlho, capacita-o a captar, de bordo de um avião, qualquer concentração de material radioativo existente na área em que for empregado, discriminando a natureza do elemento responsável pela radiação. O registro é efetuado digitalmente em fita magnética onde também aparecem as indicações de um sistema de navegação e de um rádio-altímetro, necessários à localização geográfica da radiação. Vale dizer que, ao pesquisador é dado detetar a presença de uma concentração de Potássio 40, de um dos componentes da série do Urânio ou de um dos integrantes da série do Tório. Os elementos registrados em fita magnética são, diretamente introduzidos em computador eletrônico que os calcula, localiza e põe à

escolha do pesquisador resultados numéricos ou sua conversão em representação analógica. Esta é realizada mediante o traçado de perfis espectrométricos, a coordenatógrafo eletrônico, e subsequente representação, em planta, da forma, extensão e magnitude das anomalias, por meio de curvas iso-radioativas (curvas isorradadas).

Considere-se, ainda, a notável eficiência desta categoria de sensores na pesquisa de depósitos de fertilizantes minerais, especialmente os fosfatados, e a sua aplicação é altamente recomendável na tarefa de inventariar os recursos naturais da terra, a curto prazo.

Segue-se ao de Raios  $\gamma$ , o Sensor de Ultra-Violeta.

A despeito da sensível atenuação imposta pela atmosfera às radiações ultra-violetas, o sensor para captá-las por varredura ótico-mecânica tem sido desenvolvido e aperfeiçoado com o maior interesse. Suas indicações revelam-se da maior utilidade na pesquisa mineral, especialmente na prospecção do petróleo.

Revelando as imagens obtidas, a existência de falhas que a fotografia convencional não deteta em virtude da capa de solo e da vegetação que se lhe sobrepõem, melhor define as dobras e outros aspectos estruturais e muito oferece ao petrólogo para suas pesquisas. Sua aplicação na identificação das camadas de rochas sedimentares já se revela muito mais eficiente que a fotografia convencional, especialmente as de maior refletividade ao Ultra-Violeta. Facilmente detetadas são também as rochas luminescentes, tanto as fluorescentes, quanto as fosforescentes.

No que tange a elementos da superfície, as imagens fornecidas pelo sensor de UV revelam marcado contraste das áreas cultivadas, distinguindo-as das não cultivadas.

Note-se que a despeito da atenuação que sofrem as radiações no vênú atmosférico, imagens já estão sendo tomadas

de 1.500 a 4.500 m de altitude sendo de notar a qualidade dessas imagens mesmo havendo cobertura de nuvens acima da altura do vôo.

A faixa do espectro visível, obviamente, ainda é e será por muito tempo, aquela para a qual um maior número de sensores remotos tem sido desenvolvido, todos comprovadamente eficazes e fornecendo imagens que o homem sabe interpretar e extrair um sem-número de dados e informações que o habilitam a resolver, em tempos razoavelmente curtos, problemas de levantamentos topográficos e de recursos naturais que, de outra forma, exigiriam prazos que o tornariam inúteis.

São estes os sensores remotos que, antes de assim chamados, já eram conhecidos como câmaras fotográficas, desde que Arago descobriu o segredo da retenção da imagem dos objetos e Niepce e Daguerre obtiveram, na prática, as primeiras fotografias, em 1848.

Neste grupo de sensores incluem as aperfeiçoadíssimas câmaras métricas que fornecem a fotografia com características geométricas que a credenciam como base de duas técnicas de levantamento que já se consagraram e se impuseram pela eficácia, rapidez, precisão e baixo custo, comparadas aos clássicos métodos de levantamentos topográficos e de recursos naturais em geral. Referimo-nos à Aero-fotogrametria e à Foto-interpretção.

Tais câmaras, dotadas de objetivas de elevado poder resolutivo e isentas de distorsão, fornecem fotografias que, mediante o emprêgo da técnica fotogramétrica, propiciam a elaboração de cartas e mapas, desde as cadastrais, em escalas tão grandes quanto necessárias (1:2.000, 1:1.000, 1:500, etc.) até as geográficas, em escalas de 1.50.000, 1:100.000, etc.

Estas mesmas fotografias, pela riqueza das míncias que encerram, conduziriam à introdução de uma outra técnica não menos surpreendente pela fidelidade dos resultados que produz e a economia de tempo e de custo que oferece. Trata-se da Foto-interpretção, através da qual são obtidos os elementos necessários à elaboração dos mapas temáticos para os mais variados

aspectos do conhecimento da superfície e da sub-superfície terrestres: mapas geológicos, pedológicos, fitológicos, hidrográficos, potamográficos, de uso da terra e tantos outros.

Mas não se conformaram os pesquisadores com as câmaras fotogramétricas pois, na última década, desenvolveram, ainda, as câmaras "multi-espectrais" e as "ultra-resolutivas". As primeiras, também chamadas multibandas, são dotadas de múltiplas objetivas que chegam até a 9 por câmara, produzem a cada instante, um conjunto de imagens, detetadas cada qual, através de filtros ou em emulsões diferentes, mais adequadas a esta ou aquela cor do espectro visível, ou ao UV e IV fotográficos, propiciam ao analista a oportunidade de comparar estas imagens, tomadas simultaneamente, e identificar os elementos terrestres e sub-aquáticos que mais refletem as radiações deste ou daquele comprimento de onda, compreendido entre 0,3 e 0,9 $\mu$ .

As segundas, por seu poder resolutivo, ensejam a tomada de fotografias de bordo de um satélite, nas reduziíssimas escalas de 1:1.000.000 e 1:2.000.000 e, ainda assim, nelas poderão ser identificados acidentes de real interesse para a cartografia em geral, incluindo os mapas temáticos acima enumerados. Ao saber-se que os mapas geográficos, em escala de 1:1.000.000 e 1:2.000.000, serão delas obtidos, diretamente, não se duvidará do interesse de tais fotografias, especialmente para a cartografia.

São bastante conhecidas as notáveis fotografias coloridas obtidas pelos astronautas das "Gemini" com câmaras comuns e de modesta capacidade de resolução, suportadas na mão. Não obstante a simplicidade da técnica utilizada, foi possível com elas comprovar, em definitivo, a extrema utilidade da fotografia em hiperaltitude para estudos geológicos, geográficos e oceanográficos de extensas áreas.

Ainda na faixa do visível e suas vizinhanças, aproveitando as notáveis propriedades dos chamados raios "laser",

foram também projetados e construídos sensores ativos para fins de levantamento de perfis topográficos, a partir de um avião, so brevoando o terreno a alturas que já se elevam a 7.500 m. São os altímetros ou perfilôgrafos de raios "laser".

É na ampla faixa do Infra-Vermelho, entretanto, que mais se têm aprofundado as pesquisas e mais se têm desenvol<sup>u</sup>vido, aperfeiçoado e diversificado os aparelhos captadores das radições que a compõem.

Sua fronteira com a faixa da luz visível, tão pouco definida como tôdas as demais, permitiu, naturalmente, que se lhe captassem as radiações de menores comprimentos de onda com as próprias câmaras aerofotográficas, equipadas com lentes corrigidas para a sua refrigência, e se as detetassem, com emulsões fotográficas de sensibilidade extendida, até os comprimentos de onda de  $0,9\mu$ .

Nos limites de 0,76 a 0,90 preponderam as radições emitidas pelo sol e refletidas nos elementos da superfície da terra.

As massas d'água, como é sabido, não refletem essas radiações, enquanto a folhagem das plantas as refletem com intensidade. Tais variações de reflectividade dos elementos da superfície às radiações infra-vermelhas incidentes, produzem nas fotos tonalidades contrastantes que não aparecem nas fotografias convencionais: as massas d'água inteiramente negras, e a folhagem muito branca, na imagem positiva, bem distinguem a fotografia infra-vermelha da convencional. Muito já proporciona, ao hidrólogo, a imagem do infra-vermelho em preto-branco pelo que lhe oferece de minúcias no que tange às massas d'água. Tal contribuição, aliada à maior penetração dessas radiações em camadas de nêvoa sêca, já justificaria o seu emprêgo. Valoriza, entretanto, a sua aplicação a singular capacidade de desmascarar "camouflages" quando estas são montadas com folhagem morta.

Ainda mais ampla se torna a aplicação das ra-

diacões infra-vermelhas, captadas pelas câmaras aerofotográficas, quando o detetor é uma emulsão a cores. Oferecendo ao pesquisador uma gama incalculável de matizes do vermelho, propiciam-lhe qualificar as espécies de plantas, estimar-lhes a idade e, mais do que isso, reconhecer a presença de moléstias e pragas que hajam alterado as características de reflectividade de alguns indivíduos ou de toda uma mancha de cobertura vegetal fotografada, assim como os efeitos decorrentes da deficiência de água e da salinidade do solo.

Contrastando com o vermelho da vegetação e dos solos, uma linha cor azul identifica as massas d'água, sendo notável e de grande utilidade para os hidrólogos, a variação da intensidade deste azul em função da profundidade da água.

Na segunda sub-faixa, já identificada como do infra-vermelho médio ou intermediário, predominam, ainda, as radiações do sol refletidas pelos elementos da superfície da terra até comprimentos de onda da ordem de  $3\mu$ , muito embora algumas radiações absorvidas e reemitidas pela superfície, sejam encontradas com comprimento de onda contido nos limites desta sub-faixa ( $1.3\mu$  a  $5.5\mu$ ).

Um sensor imageador de infra-vermelho, capaz de captar, por varredura, tais radiações, produzirá um detetor como o antimônio de índio, ou outro de igual sensibilidade, um impulso elétrico capaz de ativar um tubo de raios catódicos que, por sua vez, produzirá uma imagem visível, semelhante, em aspecto, a uma de televisão, mas dela diferindo pelo melhor contraste, dada a diversidade das radiações que a produzem. A imagem de um rio, um lago, uma massa d'água enfim, quando tomada com um desses sensores, após o pôr do sol ou antes do seu nascer, (quando radiações diretas e refletidas não perturbam, mas somente as re-irradiadas estão sendo captadas) apresenta-se muito clara porque a água é um dos elementos que mais absorvem radiações infra-vermelhas e as re-irradiam durante o período de ausência da luz solar.

Uma fotografia IV em preto e branco da mesma massa d'água, tomada sob a luz solar, mostra-a inteiramente negra, já que as radiações infra-vermelhas do sol que sôbre ela incidem, não se refletem e, por conseguinte, não são captadas pela câmara fotogrâfica, nem detetadas pela emulsão infra-vermelha. Imagens as mais estranhas (mas de grande interêsse para estudo de regiões como o nordeste brasileiro que se apresenta, no período diurno, coberto de nûvens, dissipadas apôs o pôr-do-sol e sô reaparecendo depois do seu nascer) podem ser obtidas com êstes sensores capazes de captar rios e lagos existentes sob uma cobertura vegetal suficientemente densa para impedir que se lhes tomem fotografias, com câmaras convencionais. E não menos estranhas são as imagens de outros elementos da superfície quando sensoreados em infra-vermelho fora das horas de sol.

Na terceira sub-faixa, já apresentada com a denominação de infra-vermelho distante ou longo (e que possui comprimentos de onda superiores a  $5,5\mu$ ), quase nenhuma radiação refletida é encontrada. Dominam esta ampla sub-faixa as radiações emitidas por elementos da superfície e do sub-solo. A despeito da forte atenuação atmosférica que sofrem as radiações de determinados comprimentos de onda como mostra a Fig. 3, tão ampla e variada, na faixa utilizável, é a gama de radiações infra-vermelhas emitidas por rochas, solos, águas e vegetação, que os pesquisadores não se contentaram em estudá-las apenas com "termogramas" obtidas com o sensor imageador de infra-vermelho, imagens com variações de tonalidade correspondentes às variações de temperatura dos elementos nela contidos.

A possibilidade de obter uma "assinatura" que constitue verdadeiro espectrograma da área sensoriada, de tanta utilidade para a prospecção do solo e do sub-solo, motivou o desenvolvimento de um outro gênero de sensores - os espectrômetros ou espectroradiômetros de infra-vermelho para grandes distâncias. Uns e outros, porém, se enquadram na categoria de aparelhos ana-

ESPECTRO DE TRANSMISSÃO ATMOSFÉRICA

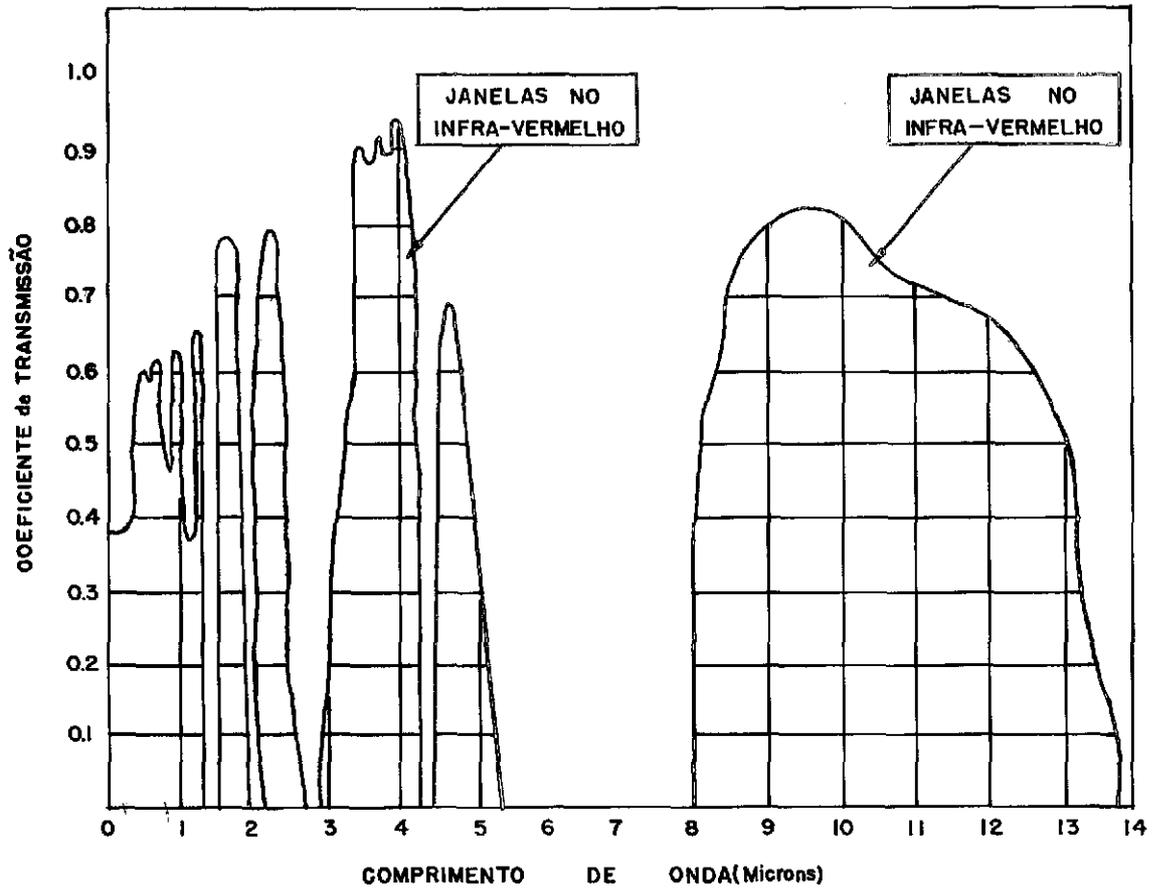


FIG. 3

lógicos.

A captação e o registro numérico de temperaturas, à distância, são conseguidos com o terceiro gênero de sensores desta sub-faixa - os chamados radiômetros de infra-vermelho, capazes de fornecer dados numéricos de temperatura de rochas, solos, águas e vegetação, indicando variações de décimos de grau centígrado e produzindo verdadeiros "perfis térmicos" do solo.

Tal é a precisão e tal a exatidão da medida remota de temperatura, com este instrumental, que os geólogos passaram a atribuir particular importância e significação a este parâmetro na seleção e classificação das rochas. E não menos significativo é o seu valor, para os hidrólogos, que dele se utilizam para o cálculo da evaporação, da evapo-transpiração e da infiltração. Mas são os fitotecnistas, os engenheiros florestais, os agrônomos, enfim, que mais estão utilizando e aproveitando os dados e informações captadas por toda essa variedade de sensores do infra-vermelho. As radiações infra-vermelhas, emitidas pela vegetação em decorrência da função clorofiliana, são detetadas por um dos instrumentos já citados e transformadas em luz visível no tubo de raios catódicos do aparelho, podendo ser registrados numa emulsão em preto e branco. Assim, às variações de intensidade das radiações infra-vermelhas, corresponderão gradações entre o preto e o branco, capazes de fornecer indicações surpreendentes como, por exemplo, as que permitem aos fitotecnistas reconhecer a presença e até diagnosticar as moléstias de que estejam afetadas as várias culturas, alterando-lhes a função clorofiliana.

Estudos em profundidade estão sendo conduzidos, à base das imagens fornecidas por sensores de infra-vermelho, para determinação da idade dos indivíduos de uma determinada espécie, considerando que, quanto maior o número de folhas empilhadas, mais clara a tonalidade obtida, e o número de folhas que se empilham conduz, por cálculo de probabilidade, à idade da planta.

Não obstante ser relativamente simples e direto o trabalho de identificação de objetos pela sua forma, ele se torna praticamente inexecutável quando os objetos a identificar são muito pequenos em comparação com a área observada. Neste caso, se o objeto que se procura reconhecer apresentar característica de reflectância espectral bem definida, será muito mais conveniente identificá-lo pela característica espectral do que pela sua forma. Essa técnica, em que se utilizam os Sensores Multi-espectrais, apresenta-se altamente promissora nos campos da Agricultura, Geologia, Hidrologia e Oceanografia.

As técnicas de identificação de materiais pelas fotografias em côm e das câmaras multi-lentes, nada mais são do que interpretações das respostas espectrais desses materiais.

Os filmes coloridos simplesmente apresentam a reflectância dos objetos em três diferentes faixas de comprimento de onda. O observador distingue então as diferenças em reflectância dos objetos numa cena como diferenças nas cores. As câmaras multi-lentes (ou multi-bandas) registram as respostas em diferentes faixas espectrais como imagens separadas em uma ou mais películas fotográficas.

No Sensor Multi-espectral, por outro lado, a reflectância espectral de cada elemento de resolução em que se divide uma certa cena é observada simultaneamente por vários detetores, que convertem suas respectivas reações em sinais elétricos. Pode-se, então, empregar técnicas de processamento em tempo real desses sinais para determinar o grau de correlação entre a reflectância espectral do elemento de resolução observado e a reflectância espectral característica do material que o sensor está buscando.

Se, em lugar de aparelhos fotográficos, utilizarmos, como coletor de dados, um aparelho de varredura ótico-mecânica, a comparação espectral não fica necessariamente limitada à região fotográfica do espectro. Na verdade, nem mesmo neces

sita ficar nos limites das radiações refletidas e pode incluir radiações no infra-vermelho distante. Tal sensor consiste, em essência, num dispositivo ótico-mecânico de varredura de linha, com uma única abertura de coleta. O elemento de resolução no solo tem sua área definida pela abertura do coletor e pela altura de vôo. O feixe de radiação, proveniente desse elemento de resolução no solo, é dispersado por um sistema de refração segundo o seu próprio espectro e vai incidir sobre uma fileira de detetores, cada um deles observando uma determinada faixa de comprimento de onda. Os sinais dos detetores são transferidos para um processador de sinais que determina o grau de correlação entre o espectro detetado e o que caracteriza o objeto buscado. Os aparelhos de varredura ótico-mecânicas têm a vantagem de produzirem dados em forma elétrica os quais tanto podem ser processados, como podem ser transmitidos para um centro de controle em tempo real.

Tal sistema combina a capacidade de geração, em tempo real, de sinais elétricos video analógicos, tal como no caso do sensor infra-vermelho imageador previamente citado, com a dispersão simultânea dos comprimentos de onda espectrais, tal como no espectrômetro também já mencionado.

Bem definida, volta a ser, entretanto, a ampla e importantíssima faixa das chamadas micro-ondas, mais comumente conhecidas como ondas de RADAR. Trata-se de uma categoria de radiações cuja produção artificial não oferece dificuldades, ensejando, assim, a construção de sensores ativos, mais difundidos mesmo que os passivos.

A facilidade com que essas radiações, emitidas pela fonte produtora, ou refletidas na superfície da terra, penetram em formações de névoa seca e úmida, em nevoeiro tênue ou denso e em cobertura de nuvens parcial ou total, desde que não se trate de nuvens pesadas de chuva, aliada a uma total independência das radiações visíveis, capacitam os sensores ativos de RADAR, numa varredura lateral, a captar imagens e detetá-las em de

tetores especiais, através dessas formações (inclusive de nuvens) a qualquer hora do dia ou da noite, com uma resolução já bastante aceitável. Sua penetração não respeita, sequer, as camadas de solo menos compactas, indo atingir os elementos da subsuperfície, a uma profundidade de até 2m, produzindo imagens que mostram mais das estruturas geológicas do que as fotografias convencionais, por não serem perturbadas pela vegetação ou pela primeira capa de solo. Desta propriedade se estão aproveitando os geólogos para orientação de suas prospecções, grandemente auxiliadas por essas imagens de radar, que lhes mostram, com notável minúcia, os aspectos estruturais que os conduzem à identificação de formações geológicas típicas de depósitos minerais, inclusive de petróleo.

Estranha há de parecer, porém, a afirmação dos pedólogos de que se estão servindo desses sensores para determinar a porosidade e a umidade do solo - parâmetros de tanta significação para a agricultura.

O que não se estranha é que, com imagens de tanta nitidez e resolução, tenha-se pensado em restituí-las para produzir mapas, como se procede com as fotografias convencionais. Aliás, pensou-se e conseguiu-se. Tanto assim, que, se as fotografias convencionais constituem a base da Fotogrametria, as imagens de RADAR, já constituem, hoje, a base da Radargrametria.

Aqui, também, as enormes possibilidades desta faixa do espectro levou o pesquisador a buscar outras formas de aproveitamento para a riqueza de informações que tais radiações, por suas características e propriedades, podem proporcionar. Assim é que, criou ele uma outra categoria de sensores ativos - os chamados Radar Dífusômetros ("Radar Scatterometers") que, emitindo radiações em diferentes ângulos de incidência sobre a superfície da terra ou do mar, captam respostas cujas variações de intensidade permitem identificar rochas, localizar "icebergs", distinguir mar calmo de ondulado, identificar a areia da costa distinguindo-a da massa d'água, acusando, portanto, qualquer varia

## ÁREAS DE APLICAÇÃO DOS SENSORES REMOTOS

### 1. Agricultura

- a. *Contrôle de plantações*
- b. *Patologia de plantas*
- c. *Química dos solos*
- d. *Contrôle de bacias de drenagem*
- e. *Engenharia da água e do solo*

### 2. Florestamento

- a. *Inventário florestal*
- b. *Deteção de incêndios em florestas*
- c. *Equilíbrio energético em áreas florestadas*
- d. *Determinação da biomassa total terrestre*  
*(Peso bruto da matéria viva, tanto de origem vegetal como animal; pode ser expressa como o peso total sêco ou como a quantidade de carbono fixo.)*

### 3. Geologia

- a. *Mapeamento geológico básico*
- b. *Prospecção de recursos minerais*
- c. *Geologia geral e de engenharia*

### 4. Hidrologia

- a. *Medidas de gelo e neve terrestres*
- b. *Gelo em rios e lagos, áreas de inundação*
- c. *Temperaturas da superfície de lagos e correntes*

- d. *Vegetação, uso da terra e origens dos sedimentos nas correntes*
- e. *Geomorfologia de bacias*
- f. *Deteção de solo congelado ou não*
- g. *Evaporação, transpiração e equilíbrio energético*
- h. *Determinação de umidade do solo*

5. *Geografia e Cartografia*

- a. *Uso da Terra: distribuição da atividade humana*
- b. *Relações homem-meio: modalidades de uso de recursos*
- c. *Geografia física*
- d. *Mapeamento em geral*
- e. *Mapeamento topográfico básico*

6. *Oceanografia-Hidrografia*

- a. *Temperaturas da superfície do mar*
- b. *Correntes oceânicas*
- c. *Biologia marinha*
- d. *Ondas oceânicas*
- e. *Gêlo no mar*
- f. *Geografia costeira*
- g. *Distribuição de componentes da atmosfera*
- h. *Interrogação de navios e boias e retransmissão de dados*

## V - CONCLUSÃO

Creemos ter ficado demonstrada a existência de uma técnica valiosa e inteiramente nova para o levantamento, à distância, de recursos do Globo Terrestre. Além disso, o seu emprego de bordo de veículos em órbita terrestre significará uma enorme ampliação dos meios disponíveis para a rápida cobertura de continentes e oceanos. Não obstante a importância dos resultados já alcançados - e, talvez, por isso mesmo - os estudiosos dessa tecnologia insistem em considerá-la como ainda em fase inicial de desenvolvimento. Portanto, procurando-se maiores profundidade e extensão para a pesquisa científica de que depende esse desenvolvimento e, também, uma melhor avaliação de utilidade de suas aplicações, os primeiros programas de cooperação internacional no campo de pesquisas para desenvolver técnicas e sistemas para uso de dados sobre recursos terrestres obtidos de bordo de aeronaves serão levados a efeito pelo Brasil, México e Estados Unidos.

Nesse propósito e no que tange à participação brasileira, foram realizados entendimentos entre o Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CONAE) do Brasil e a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA) dos EE.UU. Esses entendimentos foram confirmados por troca de notas entre os respectivos governos.

O referido programa visa a obtenção de experiência técnico-científica e, por intermédio de pesquisa aplicada, o desenvolvimento de novas técnicas e sistemas para aquisição, interpretação e utilização de dados, que poderão ser úteis no levantamento de recursos naturais, utilizando-se sensores remotos.

O pessoal de pesquisa também buscará identificar aplicações promissoras no Brasil de dados sobre recursos na

turais obtidos por sensores remotos e, para facilitar o intercâmbio de informações, procurarã desenvolver sistemas compatíveis de registro, processamento, guarda e distribuição de dados.

Os entendimentos estabelecem que o programa de cooperação seja dividido em quatro fases:

- A - Um período inicial de seis meses de treinamento cooperativo nos EE.UU. para a equipe de pesquisadores brasileiros, concluído em princípios de agosto.
- B - A escolha e implementação de áreas de teste no Brasil pelas organizações participantes locais, aquisição de aeronave instrumentada e estabelecimento de centro de processamento de dados pela CNAE (um ano e quatro meses).
- C - Vôos de avaliação e de calibração sobre as áreas de teste selecionadas (três meses).
- D - Vôos operacionais da aeronave brasileira sobre o território nacional.

Como no decorrer da execução desse programa, a vista de novas informações, pode tornar-se desejável modificá-lo, a segunda, a terceira e a quarta fases poderão ser alteradas mediante acôndo mútuo na conclusão das fases precedentes, e cada fase sucessiva sô será empreendida com a concordância de ambas as partes de que a continuação do programa é desejável e viável.

Nos Estados Unidos, outros órgãos de govêrno, tais como o Departamento de Agricultura e os Serviços de Levantamento Geológico e de Oceanografia participarão com a NASA das responsabilidades no programa. No Brasil diversas organizações governamentais estão cooperando com o goCNAE, participando de um Grupo Assessor do Projeto e contribuindo com pessoal de pesquisa para o estágio da 1ª fase e trabalhos nas fases seguintes; tais são: O Departamento de Pesquisa e Experimentação Agrícola do Ministério de Agricultura e a Secretaria de Agricultura do Estado

de São Paulo, com dois Engenheiros Agrônomos; os Departamentos Nacional da Produção Mineral e Nacional de Águas e Energia do Ministério das Minas e Energia, com um Engenheiro de Minas, um Geólogo e um Hidrólogo; a Petrobras, com um Engenheiro Geofísico; a Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha e o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, com um Oficial Hidrógrafo e um Oceanógrafo; A Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército, com um Oficial Engenheiro Geógrafo. Outras se fazem representar no Grupo Assessor, e são: o Conselho Nacional de Pesquisas, o Estado Maior das Forças Armadas, o Ministério das Relações Exteriores, o Ministério da Aeronáutica, o Departamento Nacional de Obras de Saneamento do Ministério do Interior, o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, o Instituto Brasileiro de Reforma Agrária, o Conselho Nacional de Geografia e a Associação Nacional de Empresas de Aerofotogrametria.

A exemplo do papel desempenhado pela NASA no projeto americano, caberá ao Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais a coordenação da equipe de pesquisa brasileira e a responsabilidade por todo o equipamento de coleta e processamento de dados, pelo que o GOENAE designou um Gerente de Projeto e teve quatro de seus Engenheiros Eletrônicos estagiando nos EE.UU.

Os dados de pesquisa e desenvolvimento adquiridos no decorrer do programa conjunto serão colocados à disposição das equipes participantes e os resultados científicos estarão também à disposição da comunidade científica mundial.