

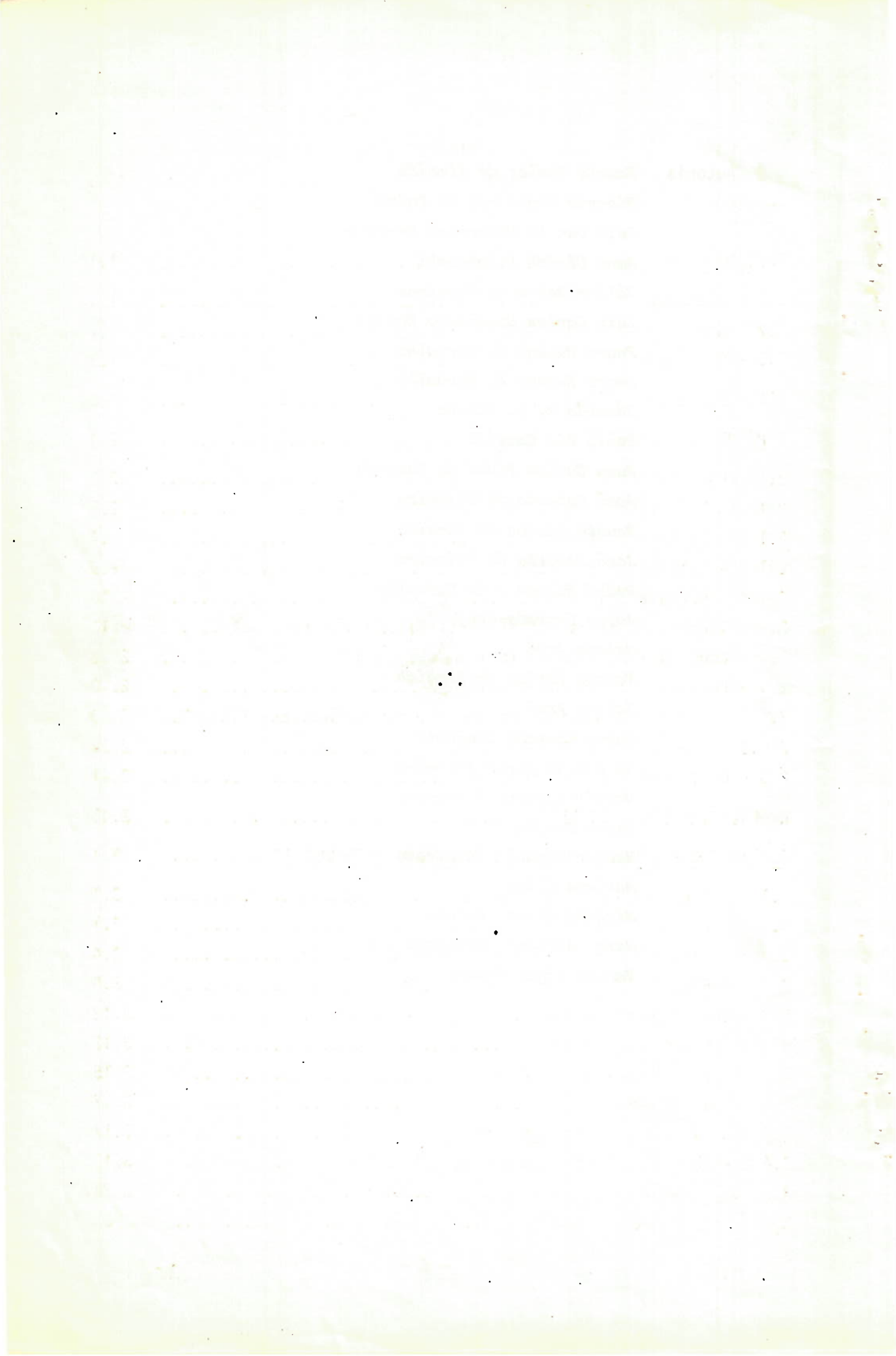
18 DEZ 1981

|   |                           |                              |  |
|---|---------------------------|------------------------------|--|
| 1. Publicação nº<br><i>INPE-2235-MD/015</i>   | 2. Versão                 | 3. Data<br><i>Out., 1981</i> | 5. Distribuição<br><input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa<br><input type="checkbox"/> Restrita |
| 4. Origem<br><i>DME</i>   | Programa<br><i>METEOR</i> |                              |  |
| 6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)<br><i>SATÉLITES</i><br><i>METEOROLOGIA</i><br><i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>   |                           |                              |  |
| 7. C.D.U.: <i>551.507.362.2:528.711.7</i>   |                           |                              |  |
| 8. Título<br><i>CURSO DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS</i><br><i>APLICAÇÕES E FOTO INTERPRETAÇÃO</i><br><br><i>- PARTE A -</i>   |                           |                              | 10. Páginas: <i>202</i><br>11. Última página: <i>9,16</i><br>12. Revisada por  |
| 9. Autoria <i>ver página - i -</i>  |                           |                              | 13. Autorizada por<br><br><i>Parada</i><br>Nelson de Jesus Parada<br>Diretor   |
| Assinatura responsável<br><br>14. Resumo/Notas<br><br><i>Devido a posição de destaque que os satélites ocupam na pesquisa e desenvolvimento do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), o departamento de Meteorologia do Instituto vem periodicamente oferecendo cursos sobre satélites meteorológicos, com o objetivo de "transferir para os profissionais na área de meteorologia, a experiência adquirida pelo Instituto, no campo dos satélites meteorológicos". Esta coletânea de trabalhos, parte do curso Satélites Meteorológicos - Aplicações e Foto Interpretação, realizado de 05 a 22 de outubro de 1981, representa um esforço no sentido de cumprir com o objetivo acima proposto.</i> |                           |                              |  |
| 15. Observações   |                           |                              |  |





9. Aatoria *Fausto Carlos de Almeida*  
*Ricardo Negreiros de Paiva*  
*Luiz Danilo Damasceno Ferreira*  
*Hans Ulrich Pilchowski*  
*Válder Matos de Medeiros*  
*Luiz Carlos Baldicero Molion*  
*Pedro Rubens A. Carvalho*  
*Pedro Rubens A. Carvalho*  
*Eduardo M. B. Alonso*  
*Paolo Pio Camilli*  
*Juan Carlos Pinto de Garrido*  
*José Roberto de Oliveira*  
*Fausto Carlos de Almeida*  
*José Roberto de Oliveira*  
*Pedro Rubens A. de Carvalho*  
*Jorge Conrado Conforte*  
*Nelson Arai*  
*Fausto Carlos de Almeida*  
*Nelson Arai*  
*Jorge Conrado Conforte*  
*Nelson de Jesus Ferreira*  
*Merrit Raymond Stevenson*  
*Keiko Tanaka*  
*Hector Manuel Inostroza Villagra*  
*Marlene Elias*  
*Michael Allan Fortune*  
*Marco Antonio Maringolo Leme*  
*Vernon Edgar Kousky*



## SUMÁRIO

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| <u>PARTE A</u>  |             |
| <u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> .....                              | 1.1         |
| 1.1 - Introdução .....  | 1.1         |
| 1.2 - Satélites meteorológicos - Breve histórico .....            | 1.1         |
| 1.3 - Os satélites meteorológicos e o INPE .....                  | 1.3         |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                  | 1.5         |
| <u>CAPÍTULO 2 - PREVISÃO ORBITAL/GRADEAMENTO</u> .....            | 2.1         |
| 2.1 - Fundamentos da teoria orbital .....                         | 2.1         |
| 2.1.1 - Leis fundamentais da mecânica celeste .....               | 2.1         |
| 2.1.2 - Movimento elíptico .....                                  | 2.4         |
| 2.1.3 - Elementos keplerianos .....                               | 2.9         |
| 2.1.4 - Perturbações .....  | 2.10        |
| 2.2 - Tipos de órbitas de satélites meteorológicos .....          | 2.13        |
| 2.3 - Cobertura da superfície a partir do satélite .....          | 2.13        |
| 2.4 - Previsão de órbitas e rastreamento .....                    | 2.20        |
| 2.4.1 - Previsão de órbitas com programas: preórbitas e TIROS-N.. | 2.20        |
| 2.4.2 - Previsão com APT-PREDICT .....                            | 2.24        |
| 2.5 - Gradeamento de fotografias .....                            | 2.41        |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                  | 2.48        |
| <u>CAPÍTULO 3 - NOÇÕES SOBRE RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE</u> ..... | 3.1         |
| 3.1 - Sol como fonte de energia .....                             | 3.1         |
| 3.1.1 - Generalidades .....                                       | 3.1         |
| 3.1.2 - Parâmetros orbitais dos planetas .....                    | 3.4         |
| 3.2 - Radiação solar no topo da atmosfera .....                   | 3.8         |
| 3.3 - Constituição da atmosfera .....                             | 3.12        |
| 3.3.1 - Composição do ar .....                                    | 3.12        |
| 3.3.2 - Estrutura da atmosfera .....                              | 3.15        |
| 3.4 - Leis de radiação .....                                      | 3.17        |
| 3.4.1 - Espectro eletromagnético .....                            | 3.17        |
| 3.4.2 - Absorção e emissão de radiação .....                      | 3.19        |
| 3.4.3 - Leis .....  | 3.23        |
| 3.4.4 - O espectro solar .....                                    | 3.28        |



|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 3.5 - Radiação e o sistema Terra- atmosfera .....                              | 3.29        |
| 3.5.1 - Atenuação da radiação na atmosfera .....                               | 3.31        |
| 3.5.2 - Interação da radiação solar com a superfície terrestre .               | 3.34        |
| 3.6 - Exemplo de balanço de energia do sistema Terra-superfície.               | 3.36        |
| BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA .....   | 3.48        |
| → <u>CAPÍTULO 4 - SATÉLITES METEOROLÓGICOS: DESCRIÇÃO</u> .....                | 4.1         |
| 4.1 - Generalidades .....  | 4.1         |
| 4.2 - Satélite Polares-TIROS N .....   | 4.1         |
| 4.2.1 - Introdução .....   | 4.1         |
| 4.2.2 - Instrumentos e Canais .....  | 4.2         |
| 4.2.3 - Sistemas de transmissão de dados .....                                 | 4.6         |
| 4.3 - Satélites Geostacionários - SMS/GOES .....                               | 4.9         |
| 4.3.1 - Introdução .....   | 4.9         |
| 4.3.2 - Instrumentos de bordo .....  | 4.11        |
| 4.3.3 - Imageamento de nuvens e temperatura .....                              | 4.12        |
| 4.3.4 - Produtos WEFAX/APT .....   | 4.14        |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 4.18        |
| <u>CAPÍTULO 5 - SATÉLITES METEOROLÓGICOS: IMAGEADORES E DISSEMINAÇÃO</u> ..... | 5.1         |
| 5.1 - Imageadores .....  | 5.1         |
| 5.1.1 - Introdução .....   | 5.1         |
| 5.1.2 - Fac-símile NEFAX .....   | 5.1         |
| 5.1.3 - Fac-símite UNIFAX .....  | 5.2         |
| 5.2 - Disseminação de produtos .....   | 5.2         |
| 5.2.1 - Introdução .....   | 5.2         |
| 5.2.2 - Redes Existentes .....   | 5.2         |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 5.7         |
| <u>CAPÍTULO 6 - PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS</u> .....                        | 6.1         |
| 6.1 - Introdução .....   | 6.1         |
| 6.2 - Descrição do sistema de coleta de dados por satélites ....               | 6.3         |
| 6.3 - Sistema ARGOS .....  | 6.5         |
| 6.3.1 - Equipamentos ARGOS .....   | 6.7         |
| 6.4 - Centros de recepção, processamento e disseminação de dados               | 6.9         |

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 6.5 - Sistema SMS/GOES .....   | 6.10        |
| <u>CAPÍTULO 7 - ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS EM TEMPO REAL-SIS</u> |             |
| <u>TEMAS UAI</u> .....   | 7.1         |
| 7.1 - Introdução .....   | 7.1         |
| 7.2 - Descrição do sistema UAI-1 .....                                   | 7.1         |
| 7.3 - Descrição do sistema UAI-REMOTO .....                              | 7.8         |
| <u>CAPÍTULO 8 - DISSEMINAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS</u>  |             |
| <u>POR VIA TELEFÔNICA</u> .....  | 8.1         |
| 8.1 - Introdução .....   | 8.1         |
| 8.2 - Descrição dos sistemas de transmissão .....                        | 8.1         |
| 8.2.1 - Sistema de compressão/descrompressão .....                       | 8.1         |
| 8.2.2 - Sistema WEFAX .....  | 8.6         |
| 8.2.3 - Sistema NEFAX .....  | 8.7         |
| 8.2.4 - Sistema INFAX .....  | 8.9         |
| 8.2.5 - Sistema de UAI-Remoto .....                                      | 8.9         |
| 8.3 - Linhas telefônicas .....   | 8.11        |
| <u>CAPÍTULO 9 - SISTEMAS OPERACIONAIS E FUTUROS PROGRAMAS DO INPE .</u>  | 9.1.        |
| 9.1 - Apresentação .....   | 9.1         |
| 9.2 - Programa aplicações meteorológicas .....                           | 9.1         |
| 9.2.1 - Introdução .....   | 9.1         |
| 9.2.2 - Objetivo do programa .....                                       | 9.2         |
| 9.2.3 - Projetos que compõem o programa .....                            | 9.3         |
| 9.3 - Programa de instrumentação e satélites meteorológicos ....         | 9.6         |
| 9.3.1 - Introdução .....   | 9.6         |
| 9.3.2 - Descrição dos projetos .....                                     | 9.7         |
| 9.4 - Programa de serviços de satélites meteorológicos .....             | 9.12        |
| 9.4.1 - Centro .....   | 9.13        |
| 9.4.2 - Operação SMS/GOES .....  | 9.13        |
| 9.4.3 - Operação TIROS .....   | 9.14        |
| 9.4.4 - Operação transmissão .....                                       | 9.15        |
| 9.4.5 - Operação APT/WEFAX .....   | 9.15        |
| 9.4.6 - COMA-CENTRO Meteorológico de primeira classe .....               | 9.16        |

SITTM







CAPÍTULO 1

OS SATÉLITES METEOROLÓGICOS E O INPE

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 1.1 - Introdução .....                                 | 1.1         |
| 1.2 - Satélites meteorológicos - Breve histórico ..... | 1.1         |
| 1.3 - Os satélites meteorológicos e o INPE .....       | 1.3         |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                       | 1.5         |

Autor: Fausto Carlos de Almeida



## CAPÍTULO 1

### OS SATÉLITES METEOROLÓGICOS E O INPE

#### 1.1 - INTRODUÇÃO

Desde o lançamento em 1960, do satélite TIRO-1, que con tinha uma câmara de televisão em miniatura, passando pelo primeiro sa télite geoestacionário, o ATS-1, que já dispunha de uma câmara do tipo "Spin Scan", até o mais recente lançamento do GOES-5 (em 1981) com seu sofisticado sistema de observações e retransmissão de dados foram lan çados mais de 40 satélites meteorológicos.

#### 1.2 - SATÉLITES METEOROLÓGICOS - BREVE HISTÓRICO

A era das observações meteorológicas, que utilizam plata formas espaciais, teve início com o lançamento, em 01 de abril de 1960, do primeiro satélite meteorológico que pertencia ao sistema TIROS (Television and Infra-Red Observation Satellite), que levava a bordo um par de câmaras de televisão em miniatura (vidicon).

Este bem sucedido programa, que envolveu o lançamento, en tre 1960 e 1965, de nove satélites, teve prosseguimento com a introdu ção da segunda geração de satélites meteorológicos operacionais, os do sistema TOS (Tiros Operational System) e os do sistema ITOS (Improved Tiros Operational System).

O primeiro da terceira geração de satélites meteorol<sup>o</sup>gi cos de órbita polar, o TIROS-N, foi lançado a 13 de outubro de 1979, inaugurando, assim, uma nova era de observação atmosférica. Os satéli tes da nova família TIROS-N operam em pares e deverão atuar até 1985.

A crescente capacitação dos veículos de lançamento, já no início dos anos 60, permitiu que os satélites meteorológicos fossem também posicionados em altitudes geoestacionárias, ampliando-se desta

forma as dimensões da arte de observação meteorológica via plataformas espaciais, ou seja, observações contínuas de quase um terço da superfície terrestre. O primeiro desta série de satélites lançados pela NASA foi o ATS-1 (Applications Technology Satellite), lançado a 06 de dezembro de 1966.

A habilidade em receber fotografias sequencialmente da mesma área do globo terrestre melhorou muito a possibilidade de detetar com alguma antecedência, fenômenos meteorológicos, tais como tempestades severas, além de permitir o acompanhamento do movimento de nuvens e sistemas frontais em tempo real, o que os satélites de órbita polar não permitem, devido à sua esparsa repetibilidade, ou seja, de 6 em 6 horas no caso de dois satélites, contra 30 minutos por um satélite geostacionário.

O satélite ATS-1 permaneceu em funcionamento por quase 10 anos (1967-1976).

O programa de observações meteorológicas com satélites geostacionários teve continuidade com a série SMS/GOES (Synchronous Meteorological Satellite/Geostationary Operational Environmental Satellite), tendo sido o primeiro deles lançado em 17 de maio de 1964.

Enquanto o ATS-1 tinha a missão de demonstrar a viabilidade de observações a partir de órbitas geostacionárias, os satélites da série SMS/GOES são operacionais e de responsabilidade da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), sendo por ela operados.

Uma outra série de satélites, chamado DMSP (Defense Meteorological Satellite Program), tem sido rotineiramente utilizada tanto pela Força Aérea, como pela Marinha dos EUA desde 1966.

Estes satélites têm capacidade tática (leitura direta) e estratégica (dados armazenados). Desde 1972, os dados obtidos por

estes satélites foram "desclassificados" e postos à disposição da comunidade científica civil, através da NOAA.

As informações a respeito dos veículos da série DMSP, antes de 1965, são material classificado. Para maiores informações sobre outros sistemas de satélites, o leitor deve consultar NASA (1980) e McClain (1980).

### 1.3 - OS SATÉLITES METEOROLÓGICOS E O INPE

Desde a criação do Projeto MESA (Meteorologia por Satélite) já no início das atividades do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), naquela época CNAE (Comissão Nacional de Atividades Espaciais), o envolvimento do Instituto com a Meteorologia vem se desenvolvendo com prioridade na área de satélites.

Entre suas inúmeras conquistas nesta área, o INPE, conta hoje com uma infra-estrutura montada, em seu Departamento de Meteorologia, capaz de receber e processar sinais e imagens de todos os satélites meteorológicos operacionais em órbita, passíveis de serem vistos por nossas antenas em São José dos Campos.

Dado este estágio de desenvolvimento e operacionalidade dos sistemas existentes no INPE, para recepção e processamento, e a sua capacitação técnica no desenvolvimento de pesquisas ligadas à utilização dos satélites, como ferramenta de observação meteorológica, o Instituto vem oferecendo cursos intensivos sobre satélites meteorológicos, com o intuito de manter um elo acadêmico no intercâmbio técnico científico de suas experiências na área de satélites meteorológicos, com outros institutos, universidades e serviços operacionais.

Quando se observa o globo como um todo e se localiza nestes os pontos de observação meteorológica dos diversos países, pertencentes a rede global de observação da OMM (Organização Meteorológica Mundial), nota-se, principalmente no Hemisfério Sul, a necessidade de ex

pansão da rede e/ou o desenvolvimento de uma capacidade de observação com extensa cobertura espacial e resolução compatíveis.

Os satélites, utilizados como plataformas de sensoriamento remoto, preenchem esta lacuna de modo satisfatório.

Desde os primeiros satélites utilizados para esta finalidade até os atuais satélites de observação ambiental, muito se fez para que eles possam ocupar decididamente o seu lugar no sistema mundial integrado de observações meteorológicas.

Apresentam-se nos próximos capítulos o potencial oferecido por esta ferramenta espacial dando-se ênfase aos tópicos e sistemas capazes de serem aproveitados no Brasil, quer pela sua aplicabilidade as condições brasileiras, quer pela disponibilidade de tecnologia e sistemas de recepção, gravação, processamento e disseminação de dados existentes.

Nesta coletânea de trabalhos são descritos os vários aspectos do satélite como um veículo espacial (Capítulo 2), o meio onde operam (Capítulo 3), seus sensores e serviços (Capítulos 4, 5 e 6), os sistemas de processamento e disseminação (Capítulos 7 e 8) e os programas ora em execução no INPE, relativos a pesquisa com satélites meteorológicos e suas aplicações, bem como, a sua utilização como plataforma de observação e determinação dos diversos parâmetros de estado (Capítulos de 10 a 17), tão necessários ao observador e pesquisador das ciências atmosféricas.

Durante o curso, além das exposições orais, e do material escrito, que consta desta coletânea, exemplos concretos serão apresentados e desenvolvidos em forma de trabalho em sala de aula, e farão parte integrante do material escrito do curso.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MACCLAIN, E.P. *Environmental satellites*. In: MCGRAW HILL  
ENCYCLOPEDIA OF ENVIRONMENTAL SCIENCE, 1980.

NASA *Meteorological satellites*. Greenbelt, MD, Goddard Space Flight  
Center, 1980. (NASA TM 80704).



## CAPÍTULO 2

### PREVISÃO ORBITAL/GRADEAMENTO

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 2.1 - Fundamentos da teoria orbital .....                         | 2.1         |
| 2.1.1 - Leis fundamentais da mecânica celeste .....               | 2.1         |
| 2.1.2 - Movimento elíptico .....                                  | 2.4         |
| 2.1.3 - Elementos keplerianos.....                                | 2.9         |
| 2.1.4 - Perturbações .....  | 2.10        |
| 2.2 - Tipos de órbitas de satélites meteorológicos .....          | 2.13        |
| 2.3 - Cobertura da superfície a partir do satélite .....          | 2.14        |
| 2.4 - Previsão de órbitas e rastreamento .....                    | 2.20        |
| 2.4.1 - Previsão de órbitas com programas: preórbita e TIROS-N .. | 2.20        |
| 2.4.2 - Previsão com APT PREDICT .....                            | 2.24        |
| 2.5 - Gradeamento de fotografias .....                            | 2.41        |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                  | 2.48        |

Autor: Ricardo Negreiros de Paiva  
Luiz Danilo Damasceno Ferreira  
Hans Ulrich Pilchowski  
Válder Matos de Medeiros



## CAPÍTULO 2

### PREVISÃO ORBITAL/GRADEAMENTO

#### 2.1 - FUNDAMENTOS DA TEORIA ORBITAL

##### 2.1.1 - LEIS FUNDAMENTAIS DA MECÂNICA CELESTE

###### - Lei de Newton

A lei universal da gravitação, também conhecida como lei de Newton, foi enunciada em 1687 por Sir Isaac Newton em seu trabalho *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, especificando a natureza das forças que agem em um sistema material, como: duas partículas A e B de massas  $m_1$  e  $m_2$  atraem-se mutuamente segundo a linha AB, com força diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.

Se  $|AB| = |BA| = r$ , então a força que age em B, devido a A, e aquela que age em A, devido a B, terão como módulo  $k(m_1 m_2/r^2)$ , onde  $k$  é uma constante de proporcionalidade, chamada "Constante Universal da Gravitação":

$$k = 6,67 \pm 0,005 \times 10^{-8} \text{ dinas cm}^2/\text{g}^2 \text{ no Sistema CGS,}$$

ou:

$$k = 0.000295912208266 \text{ ua no Sistema Astronômico.}$$

Pode-se, então, escrever:

$$\begin{aligned} F_B &= k m_2 m_1 \frac{BA}{r^3}, \\ F_A &= k m_1 m_2 \frac{AB}{r^3}. \end{aligned} \tag{2.1}$$

Deve-se notar que a lei de Newton traz como consequência a transmissão instantânea da força através do espaço, além de ser válida apenas para massas pontuais (pontos materiais), não sendo aplicada no caso de corpos de dimensões finitas. Entretanto, é possível mostrar que corpos com simetria esférica atraem-se como se suas massas estivessem concentradas em seus respectivos centros. No caso de corpos com distribuição de massa não-esférica, sua atração mútua pode se aproximar daquela, cujas dimensões dos corpos possam ser consideradas pequenas em relação às distâncias que os separam. No sistema solar todos os corpos, quando tomados em relação ao Sol, podem ser supostos como pontuais. Considerando-se o sistema Terra-Lua, ou o caso de alguns satélites naturais em relação com seus planetas, como o quinto satélite de Júpiter, deve-se levar em conta a não-esfericidade.

#### - Leis de Kepler

Bem antes da lei universal da gravitação, as três leis de Kepler foram enunciadas.

##### . 1ª Lei:

Os planetas movem-se sobre curvas planas e seus raios vetores varrem áreas iguais em tempos iguais, isto é,

$$\dot{A} = \frac{1}{2} \mathbf{r} \cdot \dot{\mathbf{r}} \quad (2.2)$$

onde  $A$  é a área varrida;  $\mathbf{r}$ , o raio vetor com origem no Sol; e  $f$ , a anomalia verdadeira. Desta lei, pode-se concluir que a força que mantém o movimento age sobre a linha que une o planeta ao Sol.

##### . 2ª Lei:

As órbitas percorridas pelos planetas são elipses e o Sol ocupa um dos focos. Esta lei mostra que a força deve ser atrativa, pois a órbita em relação ao Sol é côncava, além de revelar a necessi



dade da força ser inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa o planeta do Sol.

. 3ª Lei:

O quadrado dos períodos de revolução dos planetas em torno do Sol está um para o outro, como os cubos dos semi-eixos maiores de suas órbitas, isto é,

$$\frac{a_1^3}{P_1^2} = \frac{a_2^3}{P_2^2} = \dots, \quad (2.3)$$

onde  $a_i$  são os semi-eixos maiores das órbitas e  $P_i$  os períodos. Por esta lei fica explícito que a força deve ser diretamente proporcional às massas dos planetas; isto pode ser percebido de forma mais clara, quando a lei é escrita da seguinte maneira:

$$\frac{4\pi^2}{P_i^2} a_i^3 = \mu_i; \quad (2.4)$$

onde  $\mu_i = k(m_i + M)$ . Caso se negligencie a massa  $m_i$  de cada um dos planetas, a Lei 2.4 será:

$$\frac{4\pi^2}{P_i^2} = a_i^3 = \mu, \quad (2.5)$$

onde  $\mu = kM$ ;  $M$  é a massa do Sol; e o maior erro será de 0,1 % (Kovalovsky, 1967) no caso de Júpiter, que é o planeta de maior massa.

Deve-se notar que as leis de Kepler são válidas apenas para o problema dos dois corpos e sob as mesmas condições que a lei universal da gravitação. Porém, para um estudo não muito acurado do movimento dos planetas, estas leis podem e devem ser usadas.

### 2.1.2 - MOVIMENTO ELÍPTICO

Para estudar o movimento elíptico de uma partícula, in troduzem-se as seguintes variáveis angulares: anomalia verdadeira  $f$  e anomalia excêntrica  $u$ , conforme mostra a Figura 2.1.

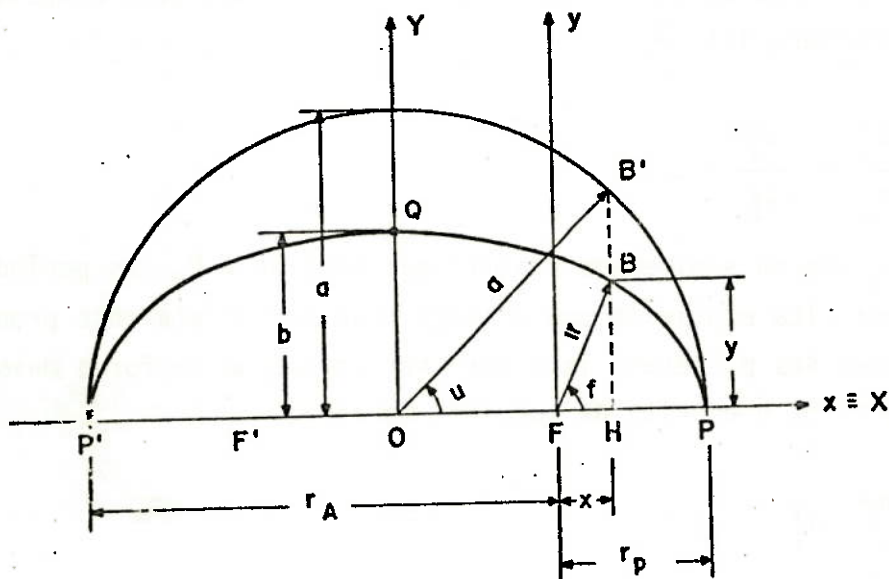


Fig. 2.1 - Anomalia verdadeira e excêntrica.

- Elipse circunscrita, definido a anomalia verdadeira  $f$  e a anomalia excêntrica  $u$ .

O segmento  $OP = OB' = a$  é o semi-eixo maior de elipse,  $OQ = b$  é o semi-eixo menor, e  $OF = c$  é a distância focal, que também é dada por:

$$c = ae, \quad (2.6)$$

pois, por definição, a excentricidade de elipse é:

$$e = \frac{c}{a}. \quad (2.7)$$

Da propriedade da elipse

$$F'B + FB = 2a, \quad (2.8)$$

onde B é um ponto qualquer da elipse, pode-se obter:

$$c^2 = a^2 - b^2,$$

$$b = a (1 - e^2)^{1/2},$$

quando  $B \equiv Q$ . Se  $FP' = r_{\max}$  e  $FP = r_{\min}$ , tem-se:

$$r_{\max} + r_{\min} = 2a,$$

$$r_{\max} - r_{\min} = 2c,$$

(2.9)

donde:

$$e = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{r_{\max} + r_{\min}}$$

e da relação

$$\frac{1}{r} = \frac{1 + e \cos v}{p},$$

(2.10)

onde:

$$v = f - f_0,$$

tem-se que:

$$p = r_{\max} (1 - e),$$

$$p = r_{\min} (1 + e),$$

que substituindo-se na primeira das Expressões 2.9, encontra-se

$$p = a (1 - e^2). \quad (2.11)$$

Para o movimento elíptico, deduz-se facilmente da Figura 2.1 que as coordenadas cartesianas de uma partícula, em função de parâmetros da órbita (elipse), são dadas por:

$$x = r \cos f = a (\cos u - e), \quad (2.12)$$

$$y = r \sin f = a (1 - e^2)^{1/2} \sin u,$$

e

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2} = a (1 - e \cos u). \quad (2.13)$$

Diferenciando-se as Equações 2.12 e 2.13 em função do tempo, obtêm-se:

$$\dot{x} = \dot{r} \cos f - r \dot{f} \sin f = -a \dot{u} \sin u, \quad (2.14)$$

$$\dot{y} = \dot{r} \sin f + r \dot{f} \cos f = a \dot{u} (1 - e^2)^{1/2} \cos u,$$

e

$$v = (\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{1/2}. \quad (2.15)$$

A partir das Expressões 2.12 e 2.13, pode-se deduzir a seguinte relação:

$$\cos f = \frac{\cos u - e}{1 - e \cos u},$$

que substituindo-se na relação trigonométrica  $\operatorname{tg}^2 (f/2) = (1 - \cos f)/(1 + \cos f)$ , resulta em:

$$\operatorname{tg} \left( \frac{f}{2} \right) = \left( \frac{1 + e}{1 - e} \right)^{1/2} \operatorname{tg} \left( \frac{u}{2} \right), \quad (2.16)$$

A Expressão  $r^2 df = 2 dA = G dt$  pode ser interpretada como a segunda lei de Kepler, pois conforme mostra a Figura 2.2  $dA = \frac{1}{2} r \cdot r df$ .

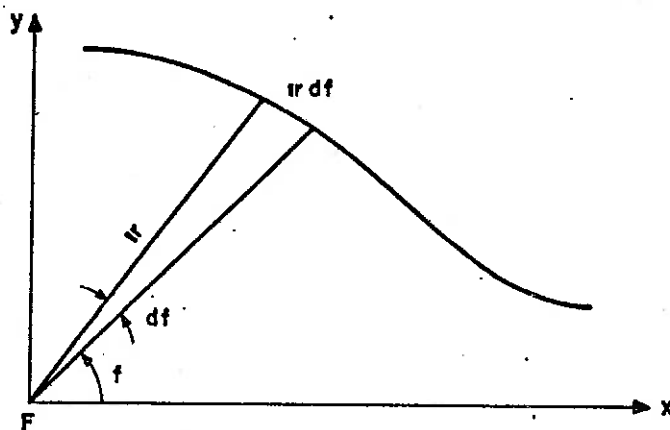


Fig. 2.2 - Lei das áreas.

- Área varrida pelo vetor r.

$dA$  é o elemento de área varrida pelo raio vetor no instante de tempo  $dt$ , e a constante das áreas  $G$  é tal que:

$$\int_0^{\Pi} r^2 df = \frac{1}{2} \int_0^P G dt = \frac{GP}{2} = \pi a^2 (1 - e^2)^{1/2}, \quad (2.17)$$

pois a área da elipse é  $\pi a^2 (1 - e^2)^{1/2}$  e o período de revolução é  $P$ .

Assim,

$$G^2 = p\mu = \mu a (1 - e^2). \quad (2.18)$$

Eliminando-se G nas Expressões 2.17 e 2.18, encontra-se:

$$\frac{4\pi^2}{p^2} a^3 = \mu, \quad (2.19)$$

que é a Expressão 2.5, isto é, a 3ª lei de Kepler, deduzida a partir da integral das áreas.

Em virtude da Relação 2.18 e tomando-se  $f_0 = 0$ , a Relação 2.10 pode ser escrita na forma:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos f}, \quad (2.20)$$

que pode ser colocada como:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{a(1 - e^2)} + \frac{e \cos f}{a(1 - e^2)},$$

diferenciando-a em relação a f, tem-se:

$$r^2 df = \frac{a(1 - e^2)}{e \sin f} dr.$$

Substituindo-se a Expressão 2.13 na segunda das Expressões 2.12, encontra-se uma relação para o  $\sin f$ , que é introduzida, na relação acima, juntamente com a derivada da Expressão 2.13, obtendo-se:

$$r^2 df = a^2(1 - e^2)^{1/2} (1 - e \cos u) du = G dt,$$

com  $G = (\mu p)^{1/2} = [\mu a(1 - e^2)]^{1/2}$ , então, integrando-se a Equação acima, do perigeu até um tempo t, tem-se:

$$a^{-3/2} \mu^{1/2} \int_T^t dt = \int_0^u (1 - e \cos u) du,$$



e definindo-se  $n = \mu^{1/2} a^{-3/2}$  e  $M = n(t - T)$ , tem-se:

$$M = n(t - T) = u - e \sin u, \quad (2.21)$$

onde  $M$  é chamada de anomalia média,  $n$  é o movimento médio e  $T$  é o tempo de passagem pelo perigeu.

A Equação Transcendente 2.21 é conhecida por equação de Kepler. Comparando-se  $n = \mu^{1/2} a^{-3/2}$  com a 3ª lei de Kepler da Expressão 2.19, vê-se que  $n = 2\pi/P$  ( $P$  é denominado período anomalístico); assim, a expressão  $M = n(t - T)$  permite interpretar  $M$  como sendo a anomalia de um satélite imaginário com velocidade angular uniforme.

### 2.1.3 - ELEMENTOS KEPLERIANOS

Os seis elementos que caracterizam uma órbita (Figura 2.3) num tempo  $t$ , a semi-eixo maior da elipse, e excentricidade, I inclinação,  $\omega$  argumento de perigeu,  $\Omega$  ascensão reta do nodo ascendente e M anomalia média, são chamados de elementos Keplerianos da órbita ou elementos orbitais [ $a, e, I, \omega, \Omega, M$  (ou  $T$ )], sendo  $T$  o tempo de passagem pelo perigeu.

O plano da órbita é definido, em qualquer instante, pelos vetores  $r$  e  $v$ . O sistema de coordenadas com origem no centro da Terra, com eixo  $X$  passando pelo ponto vernal ( $\gamma$ ),  $Y$  a  $90^\circ$  no sentido direto e  $Z$  coincidente com o polo norte, é conhecido como (Ferreira et alii, 1979) Sistema Cartesiano Celeste, sendo um sistema supostamente inercial.

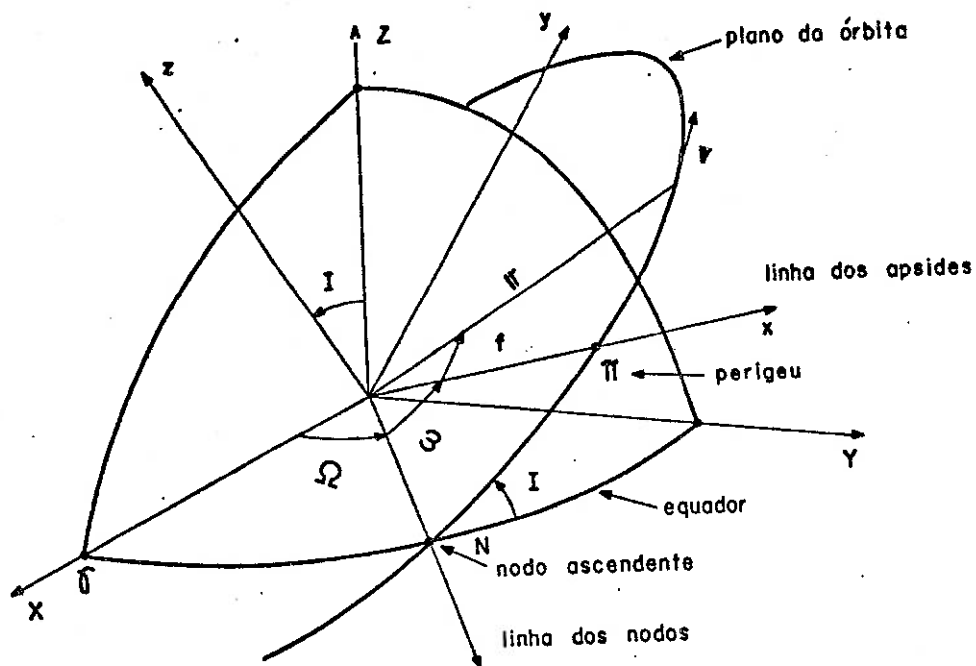


Fig. 2.3 - Órbita de um satélite.

#### 2.1.4 - PERTURBAÇÕES

O movimento de um satélite artificial, sujeito exclusivamente à atração devida a um corpo esférico e homogêneo, seria Kepleriano, e o satélite descreveria uma elipse não perturbada. No entanto, isto não ocorre no caso da Terra, devido à distribuição irregular da massa (achatamento terrestre) e a sua não homogeneidade, bem como a outros fatores que introduzem perturbações na órbita de um satélite.

As principais perturbações (desvios em relação à órbita Kepleriana) que influenciam a órbita de um satélite artificial terrestre podem ser resumidas como se segue:

- geopotencial (atração gravitacional terrestre);
- atração lunissolar;
- arrasto atmosférico;
- pressão de radiação.

#### a) Geopotencial

O achatamento terrestre (desvio principal da Terra em relação à forma esférica) pode ser considerado como perturbação de primeira ordem, no movimento de um satélite artificial.

O achatamento terrestre introduz dois efeitos de grande importância:

- retrogradação dos nodos no plano equatorial, que altera a orientação do plano orbital no espaço, sem afetar a inclinação;
- deslocamento da linha dos apsides: o perigeu se movimenta no mesmo sentido do satélite para  $I < 63,4^\circ$  e no sentido oposto para  $I > 63,4^\circ$ . Em consequência, a orientação da elipse no plano orbital varia.

#### b) Atração lunissolar

As ações atrativas do Sol e da Lua no movimento de um satélite artificial não podem ser negligenciadas, devendo ser consideradas separadamente; fato este que caracteriza, em cada caso, um problema dos três corpos.

A perturbação lunissolar afeta todos os elementos orbitais, produzindo uma significativa diminuição da altura do perigeu, que afeta o tempo de vida do satélite.

#### c) Arrasto atmosférico

O atrito com a atmosfera é a perturbação mais importante depois do achatamento terrestre, para satélites a baixa altura (satélites com altura do perigeu não superior a 1000 km). Seus efeitos, completamente diferentes dos produzidos pelas perturbações anteriores, são:

- diminuição do semi-eixo maior ( $a$ );
- diminuição da excentricidade ( $e$ );
- diminuição do período de revolução .

O arrasto atmosférico, no movimento de uma satélite terrestre, é maior na região do perigeu, provocando uma diminuição de velocidade, responsável pela perda de altura na passagem pelo apogeu.

A variação da altura do apogeu é maior que a do perigeu, revelando a tendência da órbita tornar-se circular (diminuição de  $e$ ) conforme a Figura 2.4.

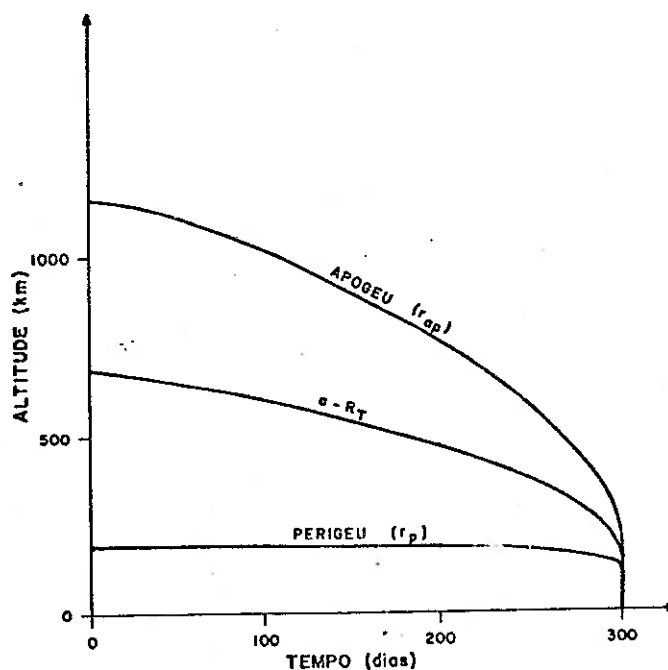


Fig. 2.4 - Contração da órbita para um caso típico.

A diminuição do período e consequência do decréscimo do semi-eixo maior, de acordo com a 3ª Lei de Kepler.

#### d) Pressão de radiação

Se a órbita de um satélite, cuja relação área/massa é apreciável, se mantiver permanentemente iluminada pelo Sol, a radiação solar afetará todos os elementos keplerianos, com exceção do semi-eixo maior.

No caso do satélite entrar e sair do cone de sombra da Terra, todos os elementos keplerianos serão afetados, inclusive o semi-eixo maior da órbita.

Para maiores detalhes sugere-se a leitura de: Escobal (1965), Bate et alii (1971) e Pilchowski et alii (1981).

#### 2.2 - TIPOS DE ÓRBITAS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Atualmente existem dois tipos de satélites meteorológicos que transmitem informações recebidas pelas estações brasileiras de rastreamento:

- satélites de órbita polar (TIROS-N, NOAA-6);
- satélites de órbita geossíncrona (SMS/GOES, METEOSAT).

Os satélites de órbita polar passam aproximadamente sobre os polos da Terra, pois a inclinação de suas órbitas varia de  $96^{\circ}$  a  $103^{\circ}$ , conforme a altura. Os satélites TIROS-N e NOAA-6 são exemplos atuais de satélites polares. Estes dois satélites têm características orbitais quase idênticas, sendo que a única diferença é o sentido do movimento. O TIROS-N orbita no sentido sul-norte, sobre o lado diurno da Terra e no sentido norte-sul, sobre o lado noturno. O NOAA-6 orbita no sentido contrário ao do TIROS-N.

Estes satélites encontram-se a uma altura média de 850 km, com órbitas cuja inclinação é de aproximadamente  $99^{\circ}$ . Essas órbitas caracterizam estes satélites como satélites de baixa altura, e as perturbações dominantes são devidas ao geopotencial, ao arrasto atmosférico e à presença do Sol e da Lua. O plano dessas órbitas tem um deslocamento angular de aproximadamente 1 grau por dia, ou seja, 360 graus por ano, o que significa que o satélite cruzará o equador sempre à mesma hora

local, durante todo o ano. Esses satélites estão sincronizados com o Sol, período de precessão nodal igual a um ano, e suas órbitas são conhecidas como órbitas heliossíncronas.

Os satélites de órbita geossíncrona são assim chamados por terem o período orbital igual ao período de rotação da Terra, o que faz com que estejam quase parados em relação a ela. Por este motivo, estes satélites são chamados geoestacionários; suas órbitas têm inclinação bem próxima de zero, coincidindo com o plano do equador terrestre, e sua altura é de 36.000 km.

Essas órbitas são caracterizadas como órbitas altas, e as perturbações dominantes são devidas ao geopotencial, ao campo gravitacional da Lua e do Sol, e à pressão de radiação solar.

### 2.3 - COBERTURA DA SUPERFÍCIE A PARTIR DO SATÉLITE

Existem dois modos de obtenção de uma imagem de superfície, a partir do satélite:

- *Modo instantâneo*: usa-se um tubo vidicon para obter a imagem integral da área observada sob a vertical do satélite. A imagem exposta é armazenada eletrostaticamente na tela do vidicon, sendo convertida em um sinal elétrico, pela varredura da tela, por meio de um feixe eletrônico.

- *Varredura*: a Terra é "varrida" por faixas através de um radiômetro, a bordo do satélite, à medida que este avança em uma órbita.

As Figuras 2.5 e 2.6 ilustram estes dois métodos de obtenção da imagem.

A superfície vista pelo satélite depende, num dado instante, da altitude orbital e do ângulo de observação do equipamento, se o satélite estiver estabilizado em três eixos.

A distância  $d$ , assinalada nas Figuras 2.5 e 2.6, no modo instantâneo, determina a superfície coberta pelo equipamento ótico numa exposição. No modo de varredura,  $d$  determina a largura da área coberta.

A Figura 2.7 mostra o esquema utilizado para o estudo da cobertura da superfície.

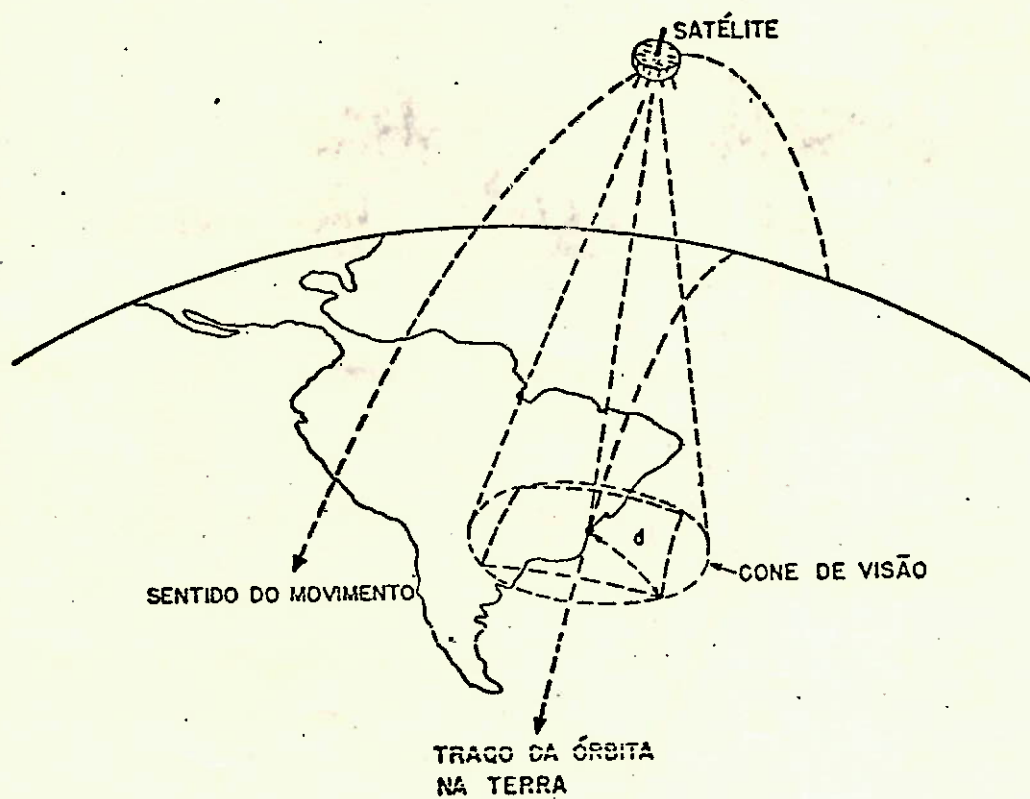


Fig. 2.5 - Aquisição de imagem por processo instantâneo.

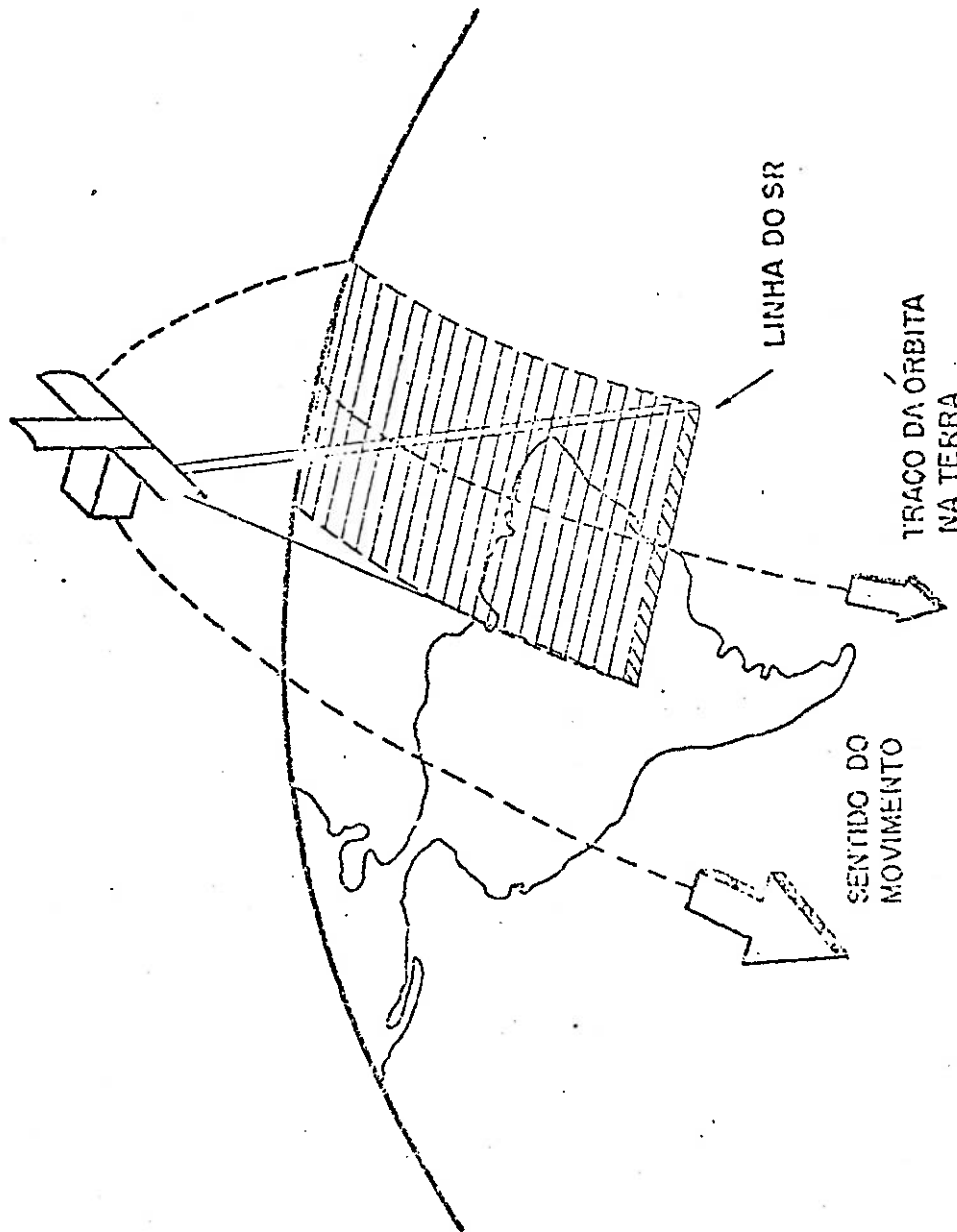


Fig. 2.6 - Aquisição de imagem por varredura.



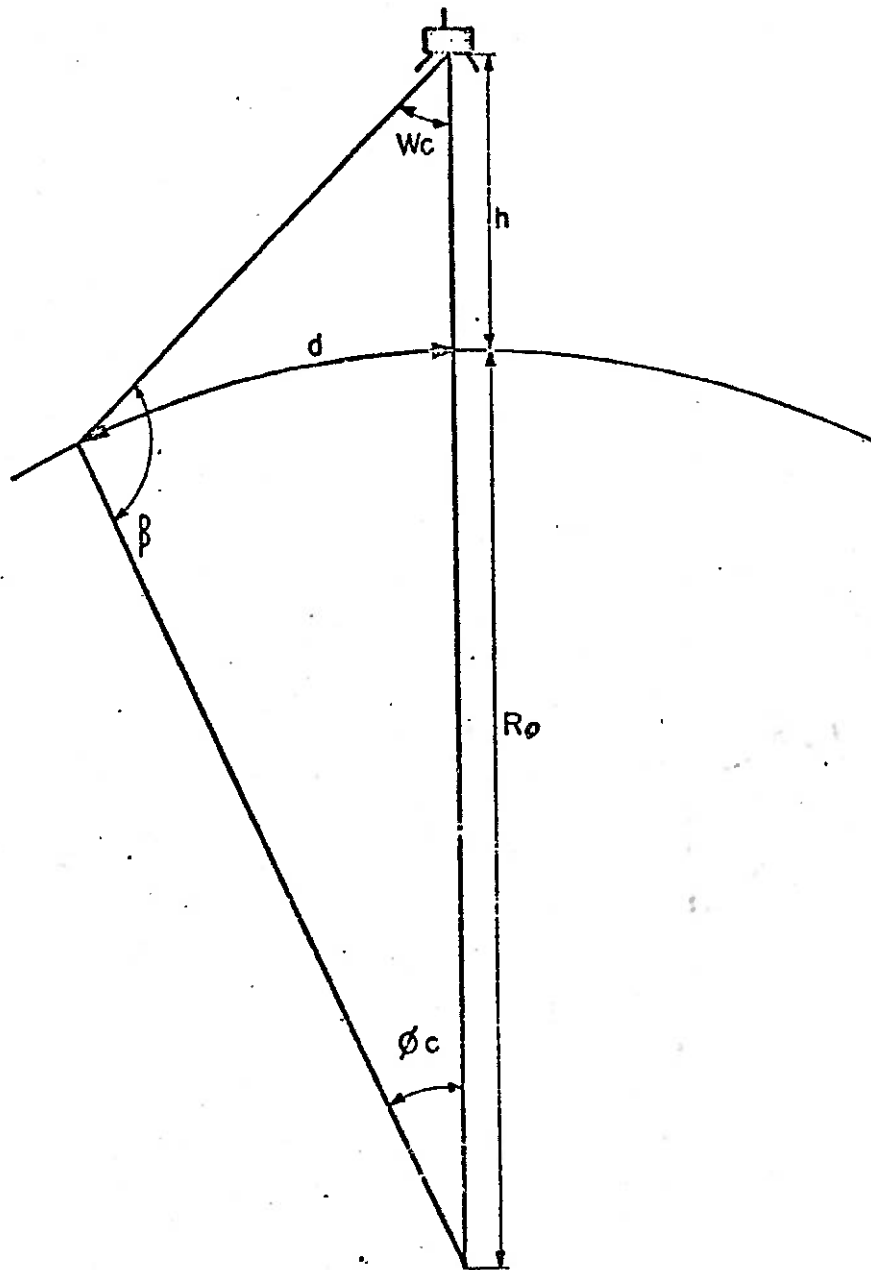


Fig. 2.7 - Geometria para estudo da cobertura na superfície.

-  $2 W_c$  = ângulo de visão do equipamento.

$h$  = altitude do satélite.

$R_0$  = raio da Terra.

Pela lei dos senos:

$$\text{sen } \beta = \left( \frac{R_0 + h}{R_0} \right) \text{sen } \omega c . \quad (2.22)$$

Logo:

$$\beta = \text{arc sen} \left[ \left( \frac{R_0 + h}{R_0} \right) \text{sen } \omega c \right] . \quad (2.23)$$

Como os ângulos internos  $\omega c$ ,  $\beta$  e  $\varnothing c$  somam  $180^\circ$ :

$$\varnothing c = 180^\circ - (\omega c + \beta) . \quad (2.24)$$

Substituindo-se 2.23 em 2.24, tem-se

$$\varnothing = 180^\circ - \left\{ \omega c + \text{arc sen} \left[ \left( \frac{R_0 + h}{R_0} \right) \text{sen } \omega c \right] \right\} . \quad (2.25)$$

Mas:

$$d = \frac{2\pi R_0}{360^\circ} \cdot \varnothing c . \quad (2.26)$$

Assim:

$$d = 111,3 \cdot \varnothing c . \quad (2.27)$$

Substituindo-se a Relação 2.27 na Equação 2.25, tem-se:

$$d = 111,3 \left\{ 180^\circ - \omega c - \text{arc sen} \left[ \left( \frac{R_0 + h}{R_0} \right) \text{sen } \omega c \right] \right\} . \quad (2.28)$$

A Equação 2.28 fornece a distância  $d$ , função do ângulo de visão  $\omega c$ , da altura  $h$  e do raio médio da Terra,  $R_0$ .

Os satélites meteorológicos atuais utilizam o processo de varredura com radiômetros. Convém lembrar que o radiômetro varre a Terra durante todo o percurso do satélite em sua órbita, e que o sinal de vídeo, referente a cada faixa varrida, é transmitido logo após a varredura.

Assim, o comprimento  $c$ , da imagem recebida pela estação terrena, depende do tempo em que o satélite é visível, de horizonte a horizonte. Esse tempo,  $T_v$ , pode ser obtido através das previsões orbitais. Conhecidos  $T_v$  e o período orbital do satélite,  $T$ ,  $c$  será dado pela fórmula:

$$c = 2 \pi R_0 \frac{T_v}{T} . \quad (2.29)$$

Assim, a imagem transmitida por um satélite que utilize o processo de varredura tem área dada por:

$$A_v = 2 \times d \times c = 2 \times 111,3 \left\{ 180^\circ - \omega c - \arcsin \left[ \left( \frac{R_0 + h}{R_0} \right) \sin \omega \right] \right\} \times \\ \times 2 \pi R_0 \frac{T_v}{T} . \quad (2.30)$$

A área da imagem, transmitida no processo instantâneo, é a área da calota subtendida pelo ângulo  $2 \omega c$  de visão de vidicon. Em termos de  $\theta c$ , esta área é dada por:

$$A_i = \frac{2 \theta c}{360^\circ} \cdot 4 \pi R_0^2 = \frac{\theta c}{45} \cdot \pi R^2 . \quad (2.31)$$

## 2.4 - PREVISÃO DE ÓRBITAS E RASTREIO

### 2.4.1 - PREVISÃO DE ÓRBITAS COM PROGRAMAS: PREÓRBITA E TIROS-N

#### - O Programa Preórbita

Este programa escrito em linguagem Algol, pode fazer previsão de órbita para diversos satélites e diversas estações.

Como dados de entrada, são fornecidos os elementos orbitais; as variações mais sensíveis destes (variação do argumento de perigeu e variação da ascensão reta do nô ascendente); a data relativa a estes elementos; a posição do meridiano de Greenwich, nesta data; a data de início da previsão (que é a data de um cruzamento com o equador); é a data do final de previsão; o número de estações e seus nomes; e as coordenadas geográficas das estações (latitude e longitude).

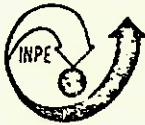
Como saída, são fornecidas, para cada estação, tabelas, cada uma referente a uma órbita passível de rastreamento, apresentando minuto a minuto informações sobre a posição do satélite e o posicionamento da antena da estação rastreadora em questão.

A Tabela 2.1 ilustra uma previsão de passagem para o satélite TIROS-N, visível pela estação de São José dos Campos.

No programa, primeiramente definem-se algumas constantes necessárias à sua execução; em seguida, faz-se a leitura de dados, a conversão de unidades e, finalmente, coloca-se o programa propriamente dito no computador. A Figura 2.8 mostra o diagrama de blocos do programa Preórbita.

TABELA 2.1

PREVISÃO DE PASSAGEM DO SATÉLITE TIROS-N



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

PREVISÃO DE PASSAGEM DE SATÉLITE

|                   |
|-------------------|
| SATÉLITE<br>TIROS |
| MES<br>SETEMBRO   |
| DATA<br>1/9/79    |

| ESTACÃO RECEPTORA |    |                  |                   | CRUZAMENTO COM O EQUADOR |                   |                   | ANOTAÇÕES               |
|-------------------|----|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| NOME              |    | LATITUDE (GRAUS) | LONGITUDE (GRAUS) | HORARIO (TMG)            | LONGITUDE (GRAUS) | ALTURA (KM)       |                         |
| S. J. CAMPOS      |    | -23.2            | -45.9             | 18:45:14                 | -53.2             | 849.4             |                         |
| HORARIO (TMG)     |    |                  | AZIMUTE (GRAUS)   | ELEVACÃO (GRAUS)         | PONTO SUBSATÉLITE |                   | MINUTOS APOS CRUZAMENTO |
| H                 | MN | SEG              |                   |                          | LATITUDE (GRAUS)  | LONGITUDE (GRAUS) |                         |
| 18                | 31 |                  | 170               | 2                        | -49.1             | -39.3             | -14                     |
| 18                | 32 |                  | 171               | 0                        | -45.5             | -40.8             | -13                     |
| 18                | 33 |                  | 171               | 11                       | -42.0             | -42.1             | -12                     |
| 18                | 34 |                  | 172               | 17                       | -38.5             | -43.3             | -11                     |
| 18                | 35 | 14               | 174               | 25                       | -35.0             | -44.4             | -10                     |
| 18                | 36 |                  | 177               | 37                       | -31.5             | -45.4             | -9                      |
| 18                | 37 |                  | 185               | 54                       | -28.0             | -46.4             | -8                      |
| 18                | 38 |                  | 225               | 75                       | -24.5             | -47.3             | -7                      |
| 18                | 39 |                  | 316               | 65                       | -21.0             | -48.2             | -6                      |
| 18                | 40 | 14               | 332               | 45                       | -17.5             | -49.1             | -5                      |
| 18                | 41 |                  | 337               | 31                       | -14.0             | -49.9             | -4                      |
| 18                | 42 |                  | 339               | 21                       | -10.5             | -50.7             | -3                      |
| 18                | 43 |                  | 341               | 14                       | -7.0              | -51.6             | -2                      |
| 18                | 44 |                  | 341               | 9                        | -3.5              | -52.4             | -1                      |
| 18                | 45 | 14               | 342               | 4                        | -0.0              | -53.2             | 0                       |
| 18                | 46 |                  | 343               | 0                        | 3.5               | -54.0             | 1                       |

OBSERVAÇÃO: A DATA SE REFERE AO CRUZAMENTO COM O EQUADOR

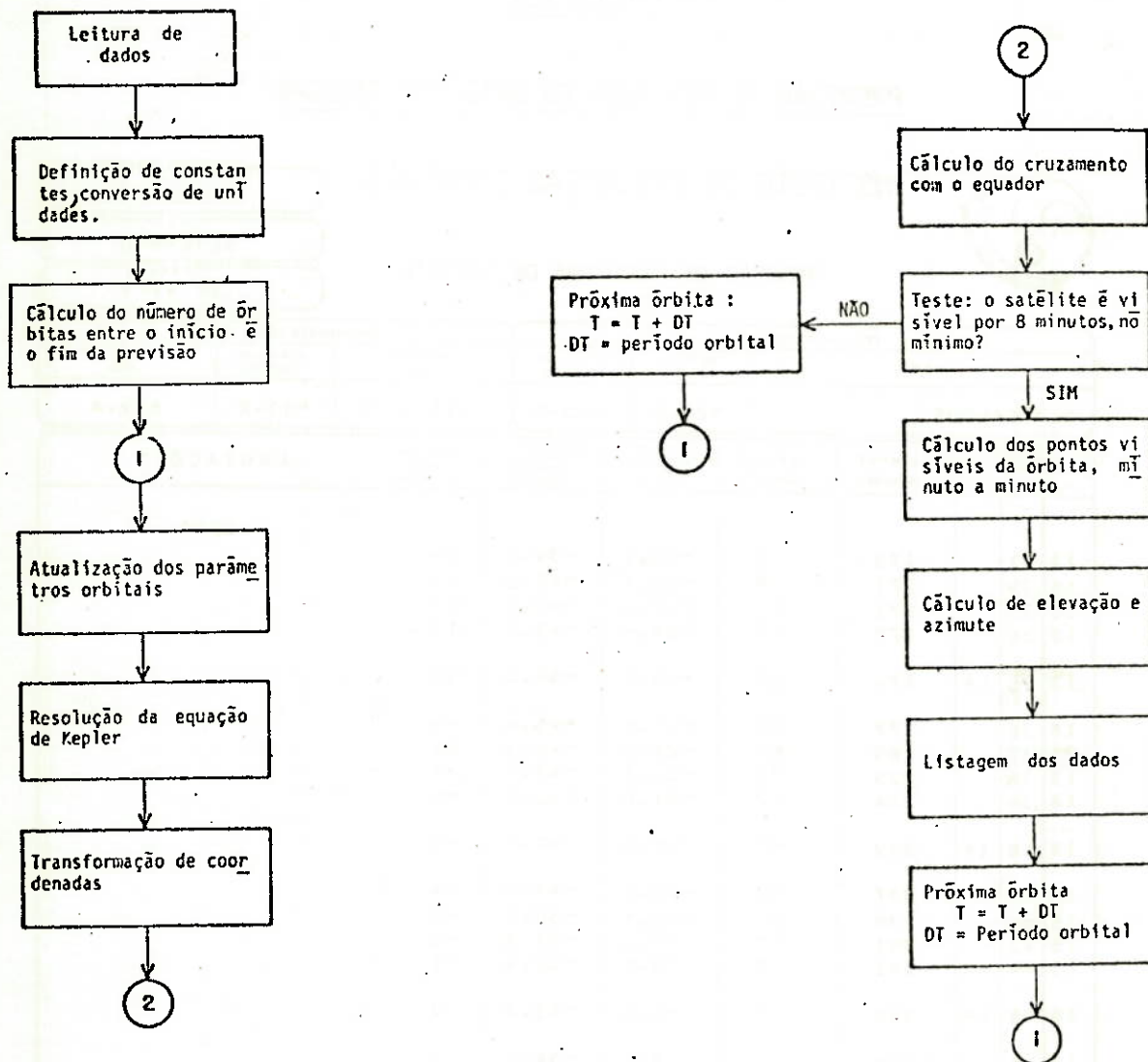


Fig. 2.8 - Diagrama de blocos do programa Preórbita.

- O Programa TIROS-N

Este programa, escrito em FORTRAN, pode fazer previsões para diversas estações e para apenas um satélite a cada execução do programa; é mais elaborado que o Preórbita, pois leva em conta algumas perturbações orbitais, tais como: achatamento da Terra e arrasto atmosférico. A Figura 2.9 apresenta o diagrama de blocos do programa TIROS-N.

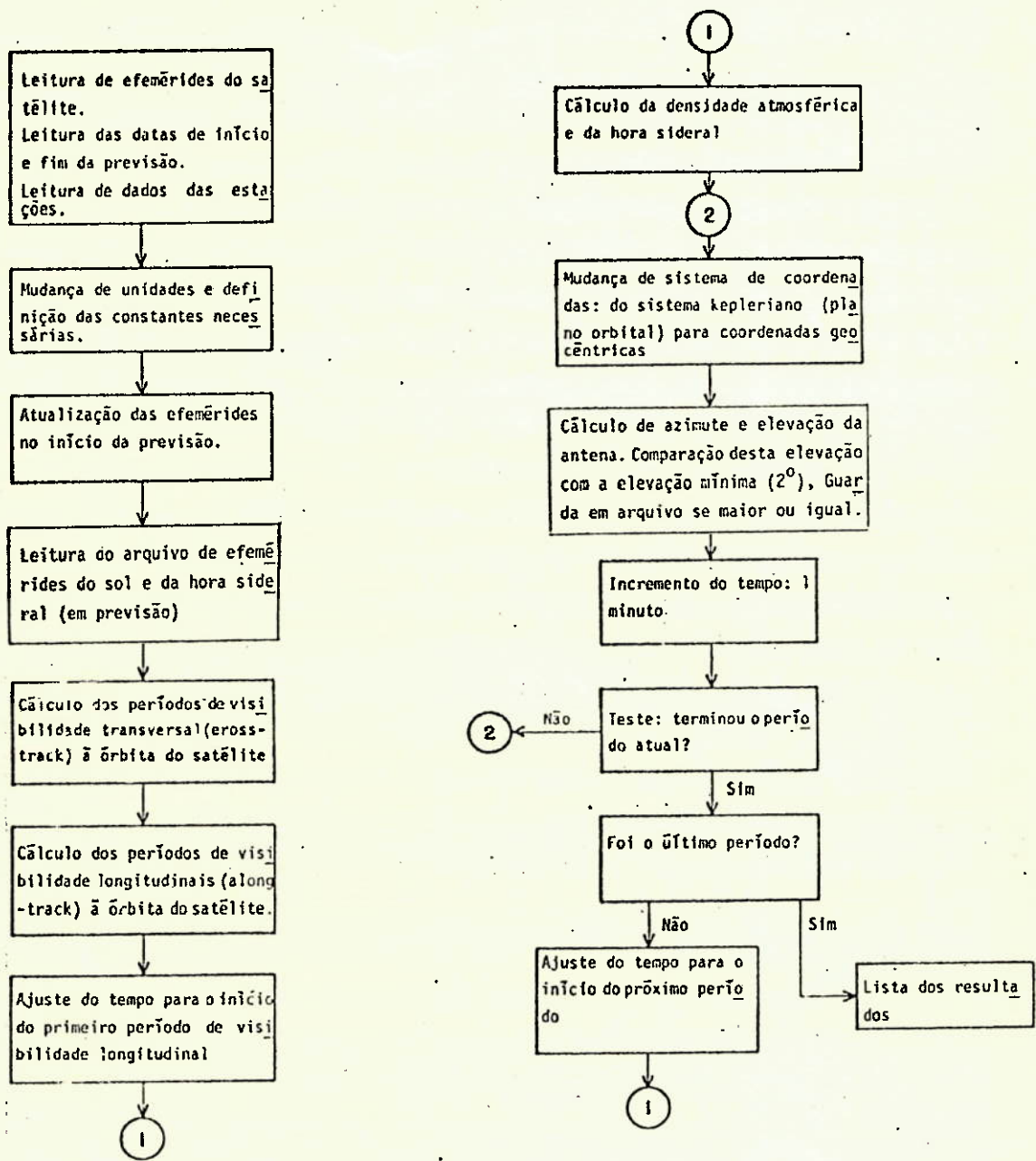


Fig. 2.9 - Diagrama de blocos do programa TIROS-N

A saída fornecida pelo programa é apresentada em forma de tabelas, idênticas às fornecidas pelo Preórbita.



#### 2.4.2 - PREVISÃO COM APT PREDICT

A fonte de elementos orbitais e informações sobre horário e longitude de cruzamento com o equador, necessário à previsão de órbita de satélites, é o APT Predict (TBUS), preparado pelo Serviço Nacional de Satélites de Meio Ambiente (NESS) e transmitido diariamente pelo Centro de Comunicações do Serviço Nacional de Previsão de Tempo (National Weather Service Communication Center).

Há duas formas de mensagem TBUS: uma forma, identificada como TBUS-1, contém informações referentes a satélites que são descendentes na parte diurna, isto é, transitam de norte para sul na porção diurna da órbita; e outra, TBUS-2, cujos dados dizem respeito a satélites ascendentes na parte diurna, isto é, transitam de sul para norte na porção diurna da órbita.

A Figura 2.10 mostra o mapa dos octantes do globo, relacionados ao símbolo Q na explicação dos códigos do APT Predict.

#### - Codificação e Decodificação do APT PREDICT

A seguir, apresenta-se o formato das informações, tal como são recebidas através de telex ou nas transmissões WEFAX.



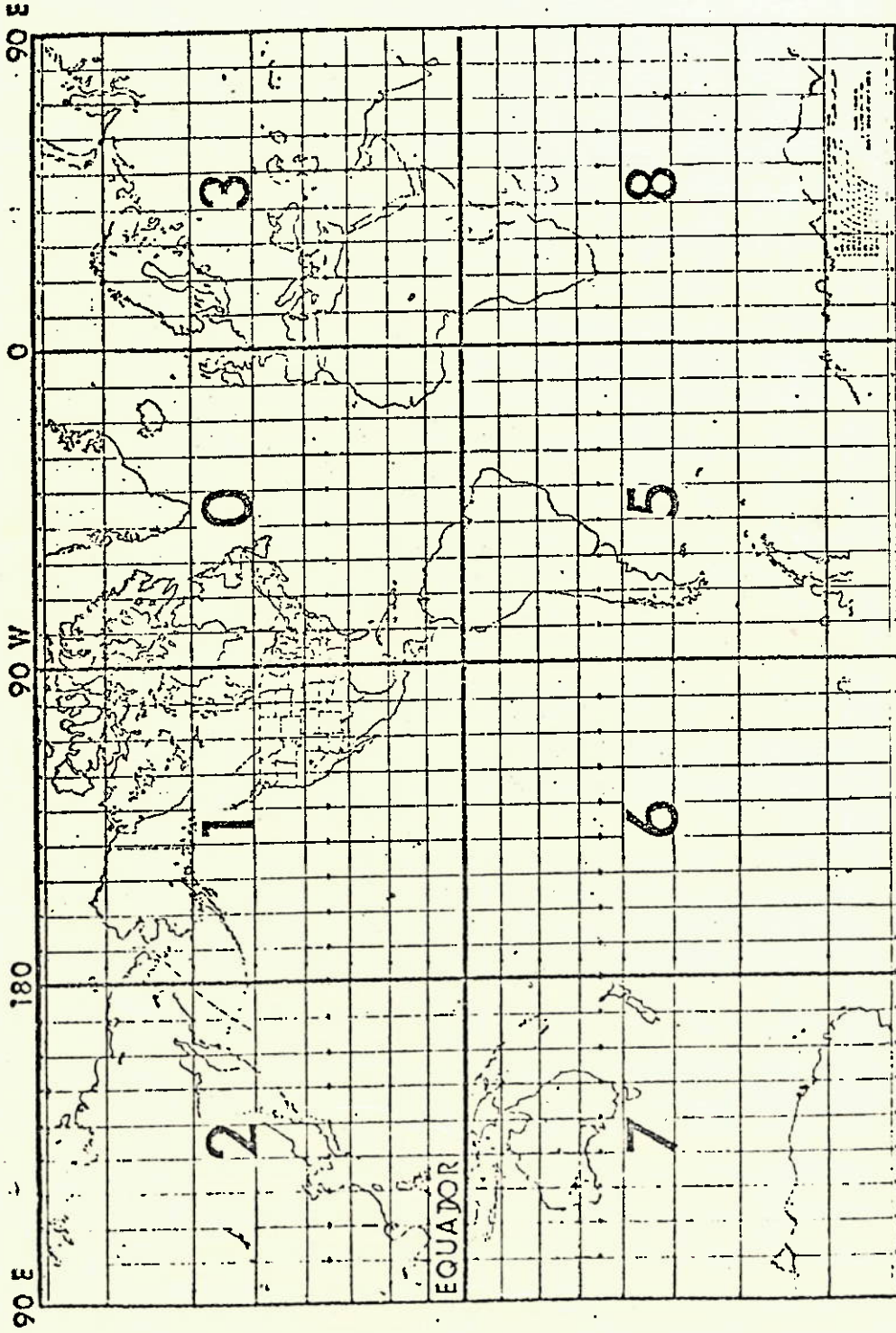


Fig. 2.10 - Mapa dos octantes do globo terrestre.

CODIFICAÇÃO DO TBUS 1

TBUS 1 KWBC

APT PREDICT

MYYSS

PART I

ON<sub>r</sub>N<sub>r</sub>N<sub>r</sub>N<sub>r</sub> OY<sub>r</sub>Y<sub>r</sub>G<sub>r</sub>G<sub>r</sub> Og<sub>r</sub>g<sub>r</sub>s<sub>r</sub>s<sub>r</sub> Q<sub>r</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub> Tg<sub>ass</sub> LL<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
N<sub>4</sub>N<sub>4</sub>N<sub>4</sub>N<sub>4</sub>G<sub>4</sub> G<sub>4</sub>g<sub>4</sub>g<sub>4</sub>s<sub>4</sub>s<sub>4</sub> Q<sub>4</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>G<sub>8</sub> G<sub>8</sub>g<sub>8</sub>g<sub>8</sub>s<sub>8</sub>s<sub>8</sub> Q<sub>8</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>G<sub>12</sub> G<sub>12</sub>g<sub>12</sub>g<sub>12</sub>s<sub>12</sub>s<sub>12</sub> Q<sub>12</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>

NIGHT PART II

02Z<sub>02</sub>Z<sub>02</sub>Q<sub>02</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 04Z<sub>04</sub>Z<sub>04</sub>Q<sub>04</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
06Z<sub>06</sub>Z<sub>06</sub>Q<sub>06</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 08Z<sub>08</sub>Z<sub>08</sub>Q<sub>08</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
10Z<sub>10</sub>Z<sub>10</sub>Q<sub>10</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

NIGHT PART III

02Z<sub>02</sub>Z<sub>02</sub>Q<sub>02</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 04Z<sub>04</sub>Z<sub>04</sub>Q<sub>04</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
06Z<sub>06</sub>Z<sub>06</sub>Q<sub>06</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 08Z<sub>08</sub>Z<sub>08</sub>Q<sub>08</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
10Z<sub>10</sub>Z<sub>10</sub>Q<sub>10</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

DAY PART II

28Z<sub>28</sub>Z<sub>28</sub>Q<sub>28</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 30Z<sub>30</sub>Z<sub>30</sub>Q<sub>30</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
32Z<sub>32</sub>Z<sub>32</sub>Q<sub>32</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

DAY PART III

56Z<sub>56</sub>Z<sub>56</sub>Q<sub>56</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 58Z<sub>58</sub>Z<sub>58</sub>Q<sub>58</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
60Z<sub>06</sub>Z<sub>06</sub>Q<sub>06</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 08Z<sub>08</sub>Z<sub>08</sub>Q<sub>08</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>

PART IV

AAAAAAAAA BBBB CCCCCCCCCC DDEEFFGGHHIIIII JJJJJJ  
KKKKKKKK LLLLLLLL MMMMMMMM NNNNNNNN OOOOOOOO PPPPPPP  
QQQQQQQQ RRRRRRRR SSSSSSSSS TTTTTTTTTT UUUUUUUUU  
VVVVVVVV WWWWWWWW XXXXXXXX YYYYYYYY ZZZaaabbb cccc  
dddddddddd eeeeeeee ffffffff gggggg SPARESPARE

APT FREQUÊNCIA DE TRANSMISSÃO XXX.XX MHz

HRPT FREQUÊNCIA DE TRANSMISSÃO XXXX MHz

BEACON (DSB) FREQUÊNCIA XXX.XX MHz

APT DIA X/X APT NOITE X/X

TEMPO CDS DDD XXXXX.XXX

(MENSAGENS ADICIONAIS, SE NECESSÁRIAS).

CODIFICAÇÃO DO TBUS 2

TBUS 2 KWBC

APT PREDICT

MMYYSS

PART I

ON<sub>r</sub>N<sub>r</sub>N<sub>r</sub>N<sub>r</sub> OY<sub>r</sub>Y<sub>r</sub>G<sub>r</sub>G<sub>r</sub> Og<sub>r</sub>g<sub>r</sub>s<sub>r</sub>s<sub>r</sub> Q<sub>r</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub> Tggss LL<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
N<sub>4</sub>N<sub>4</sub>N<sub>4</sub>N<sub>4</sub>G<sub>4</sub> G<sub>4</sub>g<sub>4</sub>g<sub>4</sub>s<sub>4</sub>s<sub>4</sub> Q<sub>4</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>G<sub>8</sub> G<sub>8</sub>g<sub>8</sub>g<sub>8</sub>s<sub>8</sub>s<sub>8</sub> Q<sub>8</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>G<sub>12</sub> G<sub>12</sub>g<sub>12</sub>g<sub>12</sub>s<sub>12</sub>s<sub>12</sub> O<sub>12</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>l<sub>o</sub>

NIGHT PART II

28Z<sub>28</sub>Z<sub>28</sub>Q<sub>28</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 30Z<sub>30</sub>Z<sub>30</sub>Q<sub>30</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
32Z<sub>32</sub>Z<sub>32</sub>Q<sub>32</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

NIGHT PART III

56Z<sub>56</sub>Z<sub>56</sub>Q<sub>56</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 58Z<sub>58</sub>Z<sub>58</sub>Q<sub>58</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
60Z<sub>60</sub>Z<sub>60</sub>Q<sub>60</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

DAY PART II

02Z<sub>02</sub>Z<sub>02</sub>Q<sub>02</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 04Z<sub>04</sub>Z<sub>04</sub>Q<sub>04</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
06Z<sub>06</sub>Z<sub>06</sub>Q<sub>06</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 08Z<sub>08</sub>Z<sub>08</sub>Q<sub>08</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
10Z<sub>10</sub>Z<sub>10</sub>Q<sub>10</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

DAY PART III

02Z<sub>02</sub>Z<sub>02</sub>Q<sub>02</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 04Z<sub>04</sub>Z<sub>04</sub>Q<sub>04</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
06Z<sub>06</sub>Z<sub>06</sub>Q<sub>06</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> 08Z<sub>08</sub>Z<sub>08</sub>Q<sub>08</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub>  
10Z<sub>10</sub>Z<sub>10</sub>Q<sub>10</sub> L<sub>a</sub>L<sub>a</sub>l<sub>a</sub>L<sub>o</sub>L<sub>o</sub>l<sub>o</sub> .....

PART IV

AAAAAAAAA BBBB CCCCCCCCCC DDEEFFGGHHIIIII JJJJJJ  
KKKKKKKK LLLLLLLL MMMMMMMM NNNNNNNN OOOOOOOO PPPPPPP  
QQQQQQQQ RRRRRRRR SSSSSSSSS TTTTTTTTTT UUUUUUUUU  
VVVVVVVV WWWWWWWW XXXXXXXX YYYYYYYY ZZZaaabb cccc  
ddddddddd eeeeeeee ffffffff ggggggg SPARESPARE

APT FREQUÊNCIA DE TRANSMISSÃO XXX.XX MHz

HRPT FREQUÊNCIA DE TRANSMISSÃO XXXX MHz

BEACON (DSB) FREQUÊNCIA XXX.XX MHz

APT DIA X/X APT NOITE X/X

TEMPO CDS DDD XXXXX.XXX

(MENSAGENS ADICIONAIS, SE NECESSÁRIAS).

## DECODIFICAÇÃO DO TBUS 1 e TBUS 2

TBUS 1 OU TBUS 2

KWBC

APT PREDICT

- Identifica o conteúdo da mensagem.

MMYYSS

- Número serial da mensagem:

MM - mês

YY - dia do mês

SS - número do satélite em questão

PART I

- Segue a informação referente ao cruzamento com equador.

0

- Indicador de grupo de código para os três primeiros grupos.

NrNrNrNr

- Número da órbita de referência (nota: informações das partes II e III também se relacionam a esta órbita de referência.).

YrYr

- Dia do mês.

GrGr

- Hora.

grgr

- Minuto.

SrSr

- Segundo.

Qr

- Octante em que o satélite entra, após cruzar o equador, na órbita de referência.

LoLoIoIo

- Longitude de cruzamento do equador na órbita de referência, em graus e centésimos de grau.

T

- Indicador, segue o período NODAL.

gg

- Período NODAL, minutos.

ss

- Período NODAL, segundos.

NOTA: Grupo das centenas não é incluído. Exemplo: 100 minutos e 13 segundos serão codificados como 0013.

|   |   |
|---|---|
| L   | - Indicador, segue o incremento da longitude NODAL.   |
| LoLoIoIo  | - Diferença de longitude entre cruzamentos sucessivos do Equador, em graus e centésimos de grau.  |
| N <sub>4</sub> N <sub>4</sub> N <sub>4</sub> N <sub>4</sub> | - Número da quarta órbita, seguindo a órbita de referência.<br><br>Horário de cruzamento com o equador na quarta órbita, após a órbita de referência. |
| G <sub>4</sub> G <sub>4</sub>                               | - Hora.   |
| g <sub>4</sub> g <sub>4</sub>                               | - Minuto.   |
| S <sub>4</sub> S <sub>4</sub>                               | - Segundo.  |
| Q <sub>4</sub>  | - Octante em que o satélite entra, após cruzar o equador, na quarta órbita após a órbita de referência.   |
| LoLoIoIo  | - Longitude de cruzamento com o equador, na quarta órbita, após a órbita de referência.   |

A informação acima é repetida para a oitava (N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>N<sub>8</sub>) e a décima segunda (N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>N<sub>12</sub>) órbitas, após a órbita de referência.

#### NIGHT PART II (TBUS-1) OU

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| DAY PART II (TBUS-2)            | - Contém altitude e coordenadas do ponto subsatélite, a intervalos de 2 minutos, após o cruzamento do equador.           |
| O2                              | - Indicador: altitude do satélite e coordenadas do ponto subsatélite, 2 minutos após o horário de cruzamento do equador. |
| Z                               | - Altitude do satélite em dezenas de quilômetros.  |
| Z <sub>02</sub> Z <sub>02</sub> | - Altitude, 2 minutos após o cruzamento do equador.  |
| Q <sub>02</sub>                 | - Octante do globo, 2 minutos após o cruzamento do equador.  |



L<sub>2</sub>L<sub>2</sub>I<sub>2</sub> - Latitude do ponto subsatélite em grau e décimos de grau, 2 minutos ap<sup>o</sup>s o cruzamento do equador.

LoLoIo - Longitude do ponto subsatélite em graus e décimos de grau, 2 minutos ap<sup>o</sup>s o cruzamento do equador.

(Esta informação é repetida a intervalos de 2 minutos sobre a porção noturna da órbita ao Norte do Equador para TBUS-1 e sobre a porção diurna da órbita ao Norte do Equador para TBUS-2).

DYA PART II (TBUS-1)

NIGHT PART II (TBUS-2) - Contêm a altitude do satélite e as coordenadas do ponto subsatélite, a intervalos de 2 minutos, ap<sup>o</sup>s o horário de cruzamento do equador.

28 - Informação pertinente a 28 minutos, ap<sup>o</sup>s o cruzamento do equador.

A decodificação das informações, a seguir, é a mesma usada anteriormente:

Z<sub>28</sub>Z<sub>28</sub>

Q<sub>28</sub>

L<sub>2</sub>L<sub>2</sub>I<sub>2</sub>

LoLoIo

NIGHT PART III (TBUS-1) OU

DAY PART III (TBUS-2) - Contêm a altitude e as coordenadas do ponto subsatélite, a intervalos de 2 minutos, antes do cruzamento do equador.

02 - Informação pertinente a 2 minutos, antes do cruzamento do equador.



A decodificação das informações, a seguir, é a mesma usa da anteriormente.

DAY PART III (TBUS-1)

NIGHT PART III (TBUS-2) - Contêm a altitude do satélite e as coordena das do ponto subsatélite, a intervalos de 2 minutos, ao sul do equador, no lado des cendente da órbita. É uma continuação da PART II, com o mesmo formato.

PART IV

- Contêm os elementos orbitais, dados atmos féricos, frequências de transmissão e pres são de radiação.

PRIMEIRA LINHA:

| SÍMBOLO     | SIGNIFICADO  |
|-------------|--|
| AAAAAAAAA   | - Identificação do satélite ("COSPAR GUIDE TO ROCKET AND SATELLITE INFORMATION AND DATA EXCHANGE", information bulletin # 9, July 1962). |
| BBBBB       | - Número da órbita na época.   |
| CCCCCCCCCCC | - Tempo do nodo ascendente (em dias a partir de 1 de janeiro 00Z) para 9 casas decimais.   |
| DD          | - Ano na época.  |
| EE          | - Mês.   |
| FF          | - Dia.   |
| GG          | - Hora.  |
| HH          | - Minuto.  |
| IIIII       | - Segundos com 3 casas decimais.   |
| JJJJJJJ     | - Tempo sideral de Greenwich com 4 casas <u>deci</u> mais (horas).   |

SEGUNDA LINHA

| SÍMBOLO  | SIGNIFICADO  |
|----------|--|
| KKKKKKKK | - Período anomalístico (minutos) com 4 casas decimais.           |
| LLLLLLLL | - Período nodal (minutos) com 4 casas decimais.                  |
| MMMMMMMM | - Excentricidade com 8 casas decimais.                           |
| NNNNNNNN | - Argumento de perigeu (graus) com 5 casas decimais.             |
| OOOOOOOO | - Ascensão reta do nodo ascendente (graus) com 5 casas decimais. |
| PPPPPPPP | - Inclinação (graus) com 5 casas decimais.                       |

TERCEIRA LINHA

| SÍMBOLO  | SIGNIFICADO  |
|----------|--|
| QQQQQQQQ | - Anomalia média (graus) com 5 casas decimais                          |
| RRRRRRRR | - Semi-eixo maior (km) com 3 casas decimais.                           |
| SSSSSSSS | - Sinal e componente X da posição na época, com 4 casas decimais (km). |
| TTTTTTTT | - Sinal e componente Y da posição na época, com 4 casas decimais (km). |
| UUUUUUUU | - Sinal e componente Z da posição na época, com 4 casas decimais (km). |

QUARTA LINHA

| SÍMBOLO  | SIGNIFICADO   |
|----------|---|
| VVVVVVVV | - Sinal e componente X de velocidade na época (km/s), com 6 casas decimais. |

|            |  |
|------------|--|
| WWWWWWWW   | - Sinal e componente Y de velocidade na época (km/s), com 6 casas decimais.  |
| XXXXXXXXXX | - Sinal e componente Z de velocidade na época (km/s), com 6 casas decimais   |
| YYYYYYYYYY | - Coeficiente balístico $C_D$ A/M ( $m^2/kg$ ) com 8 casas decimais.         |
| ZZZ        | - Fluxo solar diário (10.7 cm).  |
| aaa        | - Média sobre 90 dias corridos do fluxo solar (10.7 cm) [ $10^{-7} W/m^2$ ]. |
| bbb        | - Índice planetário magnético [ $2 \times 10^{-5}$ gauss].                   |

QUINTA LINHA

| SÍMBOLO    | SIGNIFICADO   |
|------------|---|
| cccc       | - Coeficiente de modulação do atrito atmosférico com 4 casas decimais.                      |
| dddddddddd | - Coeficiente de pressão de radiação com dez casas decimais ( $dinas/cm^2$ ).               |
| eeeeeeeeee | - Sinal e movimento do perigeu (graus/dia) com 5 casas decimais.                            |
| ffffffffff | - Sinal e movimento da ascensão reta do nó do ascendente (graus/dia), com 5 casas decimais. |
| gggggggg   | - Sinal e taxa de variação da anomalia média na época (graus/dia), com 2 casas decimais.    |
| SPARESPARE | - FIM.  |

Viu-se como se obtêm a altitude e as coordenadas do ponto subsatélite da órbita de referência, através da decodificação do APT Predict. Ver-se-á, agora, como determinar os dados de uma órbita posterior, a partir da órbita de referência.

Da Tabela 2.2, Part I, obtêm-se os seguintes dados:

- Número da órbita de referência:

$$N_0 = 4629$$

- Horário de cruzamento:

$$T_0 = 06.09.79, 16h 09m 18s TU$$

- Longitude de cruzamento:

$$\lambda_0 = - 14,12^\circ$$

- Período nodal:

$$\Delta T = 102m 05s$$

- Diferença de longitude de cruzamento:

$$\Delta \lambda = - 25,52^\circ$$

Do período nodal, obtêm-se o número de órbitas por dia:

$$N = \frac{\Delta T}{1440m} = \frac{102m 05s}{1440m} = 14,11 \text{ órbitas por dia.}$$

Se se deseja obter os dados da órbita de referência do dia 16.09.79, 10 dias após, tem-se:

$$N_1 = N_0 + 10 N = 4629 + 10 \times 14,11 = 4770,1$$

TABELA 2.2

APT PREDICT NA FORMA DE TELEX

X

ZCZC WFC762  
 TRUS2 KWFC 031900  
 APT PREDICT  
 000630 TIFCS M  
 PAFT I  
 04629 00616 00918 01412 T0205 L2552  
 16232 25739 11620  
 16270 51600 24170  
 16411 23421 33962  
 DAY PAFT II  
 02850 070154 04850 140171 06850 210188  
 08850 280206 10850 350226 12850 419249  
 14850 488277 16850 556311 18850 624358  
 20850 689429 22850 750552 24850 797801  
 26851 808230 28851 773566 30851 716731  
 32852 652780  
 DAY PAFT III  
 02855 070122 04855 140106 06865 210089  
 08865 279070 10875 349050 12875 418028  
 14875 486000 16888 554033 18888 621079  
 20888 686147  
 NIGHT PAFT II  
 34852 586725 36852 518686 38852 449656  
 40852 380631 42852 311610 44852 241591  
 46852 171574 48852 101557 50862 031541  
 NIGHT PAFT III  
 52867 038525 54867 108509 56867 178492  
 58877 248474 60877 317455 62877 386434  
 64887 455409 66887 523378 68887 590339  
 70887 656283 72897 719193 74897 775024  
 76898 809684 78898 796261 80888 749017  
 82885 689103 84885 624173  
 PART IV  
 210709060000 010107235 000158 016821 212683  
 008957 7230050 125011  
 APT TRANSMISSION FREQUENCY 137.50 MHZ  
 HEFT TRANSMISSION FREQUENCY 1707 MHZ  
 BEACON (ESP) FREQUENCY 137.77 MHZ  
 APT DAY/NIGHT 1/1

Arredondando-se o valor anterior de  $N_1$  para o inteiro mais próximo, tem-se:

$$N_1 = 4770.$$

A diferença entre o número de órbitas é:

$$\Delta N = N_1 - N_0 = 4770 - 4629 = 141.$$

Novo horário de cruzamento:

$$T_1 = T_0 + \Delta N \cdot \Delta T$$

Mas:

$$\Delta N \cdot \Delta T = 141 \cdot 102^m 05s = 14382^m 705s.$$

Convertendo-se este valor para dias, horas, minutos e segundos, tem-se:

$$\Delta N \cdot \Delta T = 9 \text{ dias } 23^h 53^m 45s.$$

Assim:

$$T_1 = 06.09.79, 16^h 09^m 18s + 9 \text{ dias } 23^h 53^m 45s.$$

$$T_1 = 16.09.79, 16^h 03^m 02s$$

Nova longitude de cruzamento:

$$\lambda_1 = \lambda_0 + \Delta N \cdot \Delta \lambda$$

Mas:

$$\Delta N \cdot \Delta \lambda = 141 \cdot (-25,52^\circ) = -3598,32^\circ.$$

Obtendo-se a menor determinação do valor acima:

$$\Delta N \cdot \Delta \lambda = - 358,32^{\circ} = \text{incremento de longitude.}$$

Assim:

$$\lambda_1 = - 14,12^{\circ} - 358,32^{\circ} = - 372,440^{\circ}.$$

Obtendo-se, novamente, a menor determinação:

$$\Delta_1 = - 12,44^{\circ}$$

Para obter as coordenadas dos outros pontos da órbita, tem-se o seguinte procedimento:

- 1) as latitudes são iguais às da órbita de referência, obtidas das partes II e III;
- 2) as longitudes são calculadas somando-se o incremento de longitude de  $(-358,32^{\circ})$  às longitudes da órbita de referência, obtidas das partes II e III.
- 3) os horários são obtidos em relação ao novo horário de cruzamento  $T_1$ , distanciados de 2, 4, 6, 8, etc. minutos, como na órbita de referência;
- 4) as altitudes são as mesmas que as da órbita de referência, também obtidas das partes II e III.

Rastreio; Cálculo de Azimute e Elevação:

Ver-se-á, agora, como se calcula os ângulos de azimute e elevação da antena rastreadora, a partir das coordenadas da estação, das coordenadas do ponto subsatélite e da altitude do satélite, obtidas do APT Predict.

A Figura 2.11 mostra a geometria usada para os cálculos.

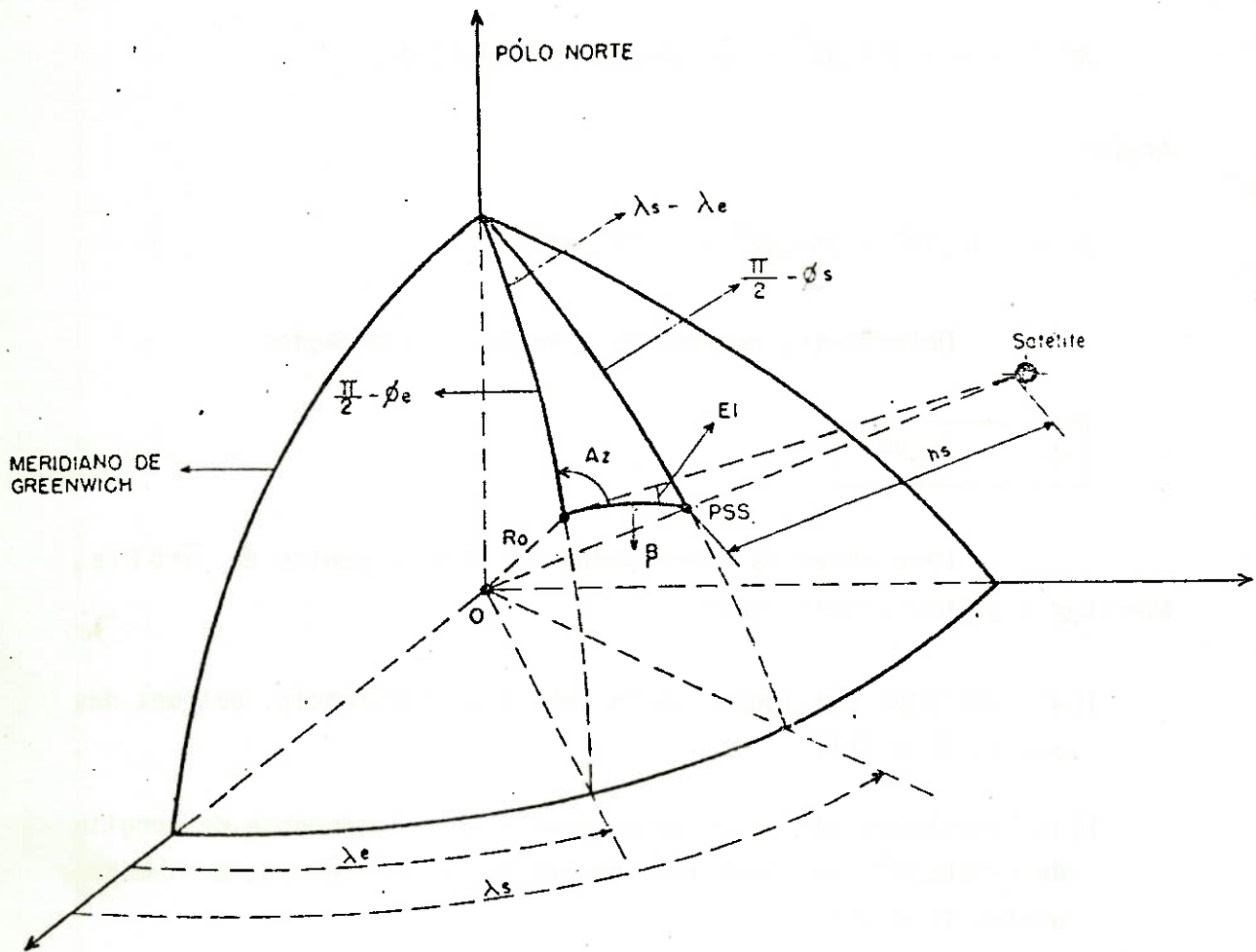


Fig. 2.11 - Geometria para determinação de azimute e elevação da antena rastreadora.

- $\lambda_e$  = Longitude da estação.
- $\phi_e$  = Latitude da estação.
- $R_0$  = Raio da Terra, em km.
- PSS = Ponto subsatélite.
- $\lambda_s$  = Longitude do ponto subsatélite.
- $\phi_s$  = Latitude do Pss.
- $h_s$  = Altitude do satélite.
- EI = Elevação da antena.
- Az = Azimute da antena.



Usando-se as leis do seno e do cosseno para triângulos esféricos, tem-se:

$$\beta = \text{arc cos} \left[ \text{sen } \vartheta_e \text{ sen } \vartheta_s + \text{cos } \vartheta_e \text{ cos } \vartheta_s \text{ cos } (\lambda_s - \lambda_e) \right], \quad (2.32)$$

$$A_z^* = \text{arc sen} \left[ \frac{\text{cos } \vartheta_s \text{ sen } (\lambda_s - \lambda_e)}{\text{sen } \beta} \right], \quad (2.33)$$

$$c = \text{sen } \vartheta_s - \text{sen } \vartheta_e \text{ cos } \beta, \quad (2.34)$$

$$A_z = A_z^* \text{ se } c > 0, \quad (2.35)$$

$$A_z = 180^\circ - A_z^* \text{ se } c < 0,$$

$$E_l = \text{arc cos} \left( \frac{\text{sen } \beta}{\sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \text{ cos } \beta}} \right), \quad (2.36)$$

com:

$$\rho = \frac{R_o}{h_s + R_o} \quad (2.37)$$

Com este conjunto de fórmulas é possível calcular o azimute e a elevação da antena, para cada ponto subsatélite obtido do APT Predict.

## 2.5 - GRADEAMENTO DE FOTOGRAFIAS

O gradeamento de uma fotografia produz um bom conhecimento das coordenadas de cada ponto registrado. Para tanto, basta superpor, à foto, um sistema conveniente de coordenadas terrestres, deformado de acordo com o movimento relativo sensor/superfície.

Este sistema, denominado grade, é obtido basicamente pelo processo complementar da previsão de órbita, isto é, enquanto na previsão, o problema se enfoca do ponto de vista da estação de rastreamento, na grade, o centro de observação passa a ser o próprio satélite. Os itens fundamentais para o desenvolvimento do processo de cálculo da grade são as relações entre: coordenadas terrestres/segmento de arco varrido sobre a superfície da Terra/ângulo de varredura do radiômetro/escala empregada para a foto. A Figura 2.12 dá uma idéia destes elementos.

O item adicional, que conduz o cálculo a um método iterativo, é o fato do ponto S e do ponto PV não serem estacionários.

A grade mais conveniente é formada por linhas de latitude e longitude constantes (Figura 2.13); opcionalmente mostra um mapa da região fotografada (Figura 2.14).

Em ambas as grades (Figuras 2.13 e 2.14) o significado das linhas é idêntico.

- *Linhas curvas "horizontais"*: são linhas de latitude constante, espaçadas de  $5^{\circ}$ . O valor de sua latitude (escrito sobre a linha) é acrescido da letra S ou N, conforme o seu hemisfério, ou do sinal negativo para o Hemisfério Sul.
- *Linhas curvas "verticais"*: são linhas de longitude constante, espaçadas de  $5^{\circ}$ . Para as longitudes brasileiras, usa-se o sufixo W (oeste) ou o sinal menos (-).

Conhecendo-se previamente o valor de uma linha de latitude ou uma de longitude, determina-se automaticamente o valor das demais, dispondo-se, então, de um dos elementos do gradeamento, uma vez que, apenas com estas linhas, não se pode superpor grade/foto.

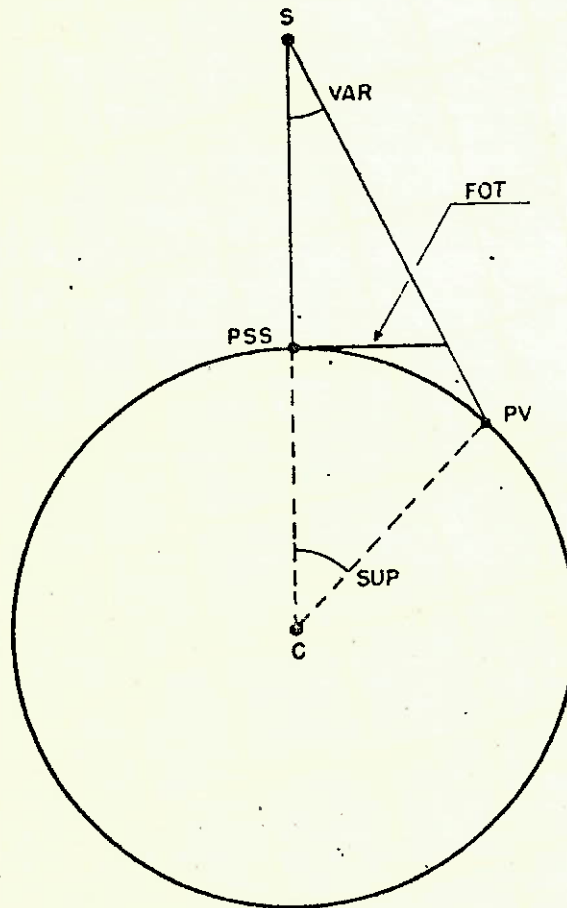


Fig. 2.12 - Elementos para o cálculo da grade.

- S: Satélite.
- PSS: Ponto Subsatélite.
- PV: Ponto visado na superfície da Terra.
- SUP: Ângulo sobre a superfície da Terra.
- C: Centro da Terra.
- VAR: Ângulo de varredura do radiômetro.
- FOT: Segmento proporcional ao trecho da foto, correspondente a VAR.

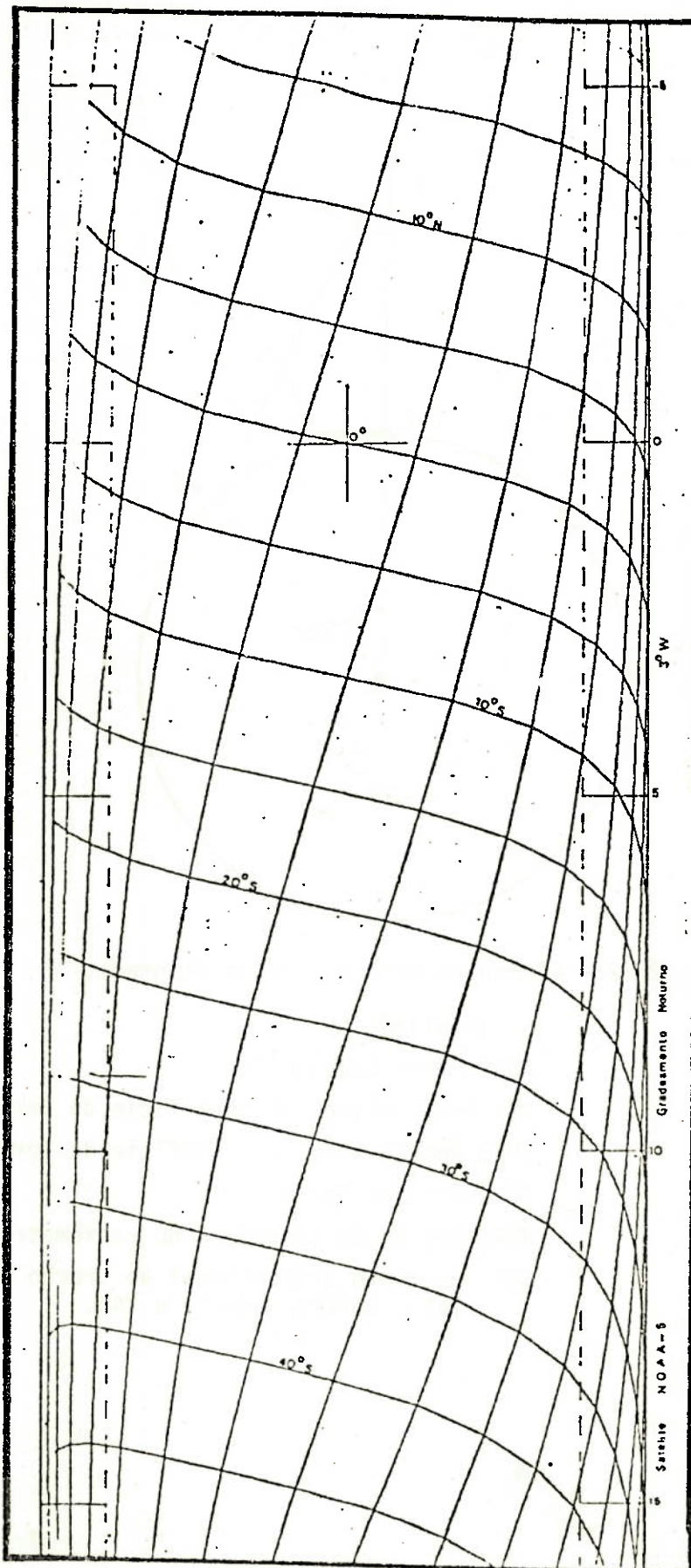


Fig. 2.13 - Grade com linhas de latitude e longitude constantes.

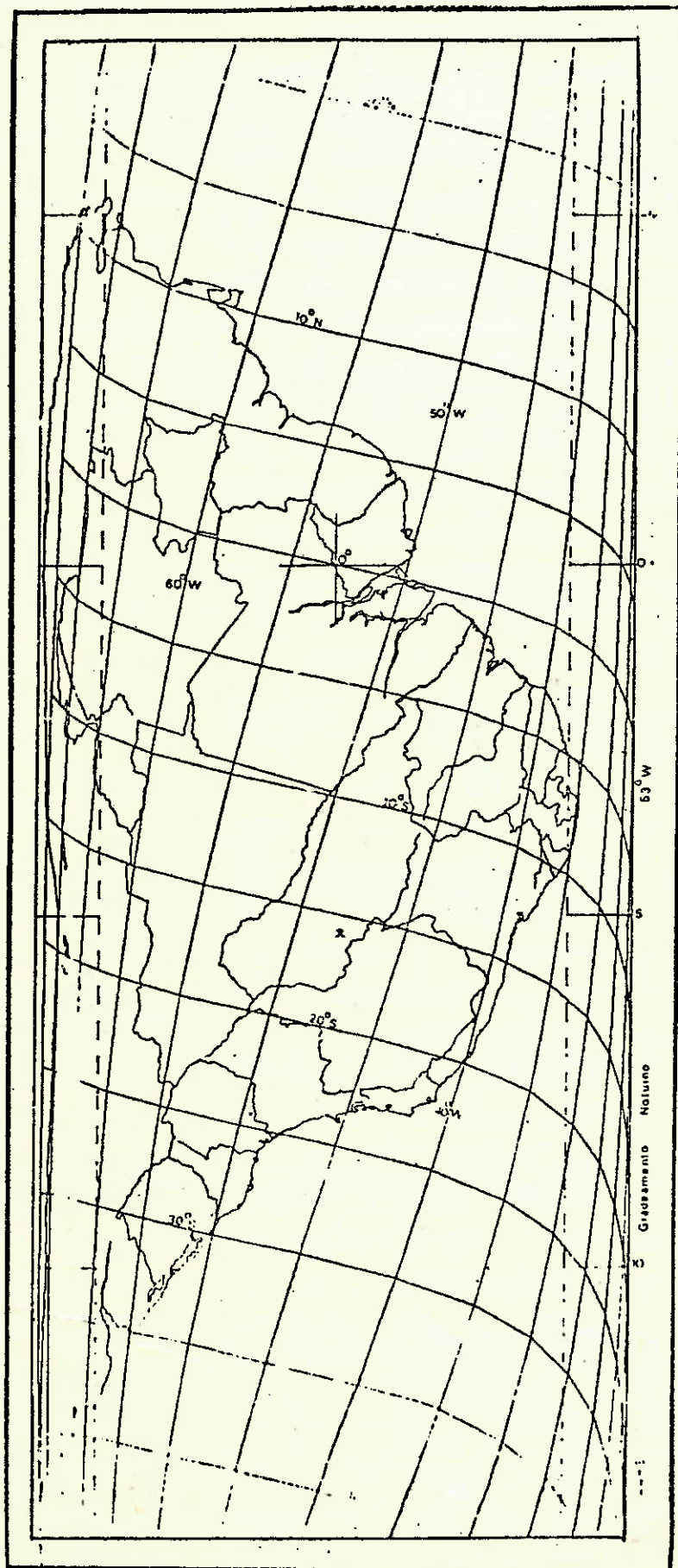


Fig. 2.14. - Grade com o mapa da região fotografada.

Salienta-se, aqui, a importância das marcas de tempo a intervalos de 5 minutos.

Na grade, estas linhas correspondem às *linhas retas horizontais*, e indicam a posição do satélite a tempos múltiplos de cinco minutos, antes ou após o cruzamento com o equador. A coincidência das linhas da grade com as correspondentes marcas de tempo da foto determina a correspondência entre pontos da foto e suas coordenadas geográficas.

As *linhas retas verticais externas* delimitam a região fotografada pelo satélite, enquanto que as *verticais tracejadas* delimitam a região fotografada sem superposição de imagem.

A *linha vertical central* denota a projeção da trajetória do satélite sobre a região mapeada.

Três elementos devem ser observados nas Figuras 2.13 e 2.14, sendo os dois primeiros durante o processo de obtenção da imagem e o terceiro na superposição grade/foto:

- *Altura de 10 minutos* - indica, para fins de ampliação do negativo, a distância entre dois traços alternados, marcados na foto, com intervalo de 10 minutos entre eles.
- *Largura da imagem* - indica, regulado o osciloscópio, a largura correta (correspondente à altura de 10 minutos) da imagem.
- *Longitude de cruzamento com o equador* - indica a longitude (ou o resto de sua divisão por 5) do cruzamento da linha vertical com o equador e com a reta horizontal de 0 minutos.

Se se deseja um gradeamento apenas de latitude e longitude, sem mapa, uma só grade é suficiente, uma vez que a Terra é simétrica em longitude e a inclinação do satélite é constante, seja nas passagens diurnas, seja nas noturnas, quando a inclinação é o suplemento da inclinação diurna, bastando, no segundo caso, usar a grade transparente do lado oposto.

O caso de um gradeamento mapeado exige grades para cada longitude de cruzamento. Neste caso, uma coleção de grades é necessária.

O INPE possui um programa destinado à confecção de grades por meio de plotadora. Estas grades são copiadas em transparências, através de processo fotográfico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATE, R.R.; MUELLER, D.D.; WHITE, J.E. *Fundamentals of astrodynamics*. New York, N.Y., Dover, 1971.
- ESCOBAL, P.R. *Methods of orbit determination*. New York, N.Y., John Wiley & Sons, 1965.
- FERREIRA, L.D.D.; SILVA, W.C.C. da, PILCHOWSKI, H.U. *Notas sobre sistemas de coordenadas e tempo*. São José dos Campos, INPE, dez. 1979. (INPE-1634-RPE/039).
- KOVALESKY, J. *Introduction to celestial mechanics*. New York, N.Y., Springer-Verlag, 1967.
- PILCHOWSKI, H.U.; SILVA, W.C.C. da; FERREIRA, L.D.D. *Introdução à mecânica celeste*. São José dos Campos, INPE, jun. 1981. (INPE-2126-RPE/250).



## CAPÍTULO 3

### NOÇÕES SOBRE RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 3.1 - Sol como fonte de energia .....                             | 3.1         |
| 3.1.1 - Generalidades .....                                       | 3.1         |
| 3.1.2 - Parâmetros orbitais dos planetas .....                    | 3.4         |
| 3.2 - Radiação solar no topo da atmosfera .....                   | 3.8         |
| 3.3 - Constituição da atmosfera .....                             | 3.12        |
| 3.3.1 - Composição do ar .....                                    | 3.12        |
| 3.3.2 - Estrutura da atmosfera .....                              | 3.15        |
| 3.4 - Leis de radiação .....                                      | 3.17        |
| 3.4.1 - Espectro eletromagnético .....                            | 3.17        |
| 3.4.2 - Absorção e emissão de radiação .....                      | 3.19        |
| 3.4.3 - Leis .....  | 3.23        |
| 3.4.4 - O espectro solar .....                                    | 3.28        |
| 3.5 - Radiação e o sistema Terra-atmosfera .....                  | 3.29        |
| 3.5.1 - Atenuação da radiação na atmosfera .....                  | 3.31        |
| 3.5.2 - Interação da radiação solar com a superfície terrestre... | 3.34        |
| 3.6 - Exemplo de balanço de energia do sistema Terra-atmosfera .. | 3.26        |
| BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA .....                                    | 3.48        |

Autor: Luis Carlos Baldicero Molion

## LISTA DE FIGURAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 3.1 - Sistema Sol-Terra .....  | 3.2         |
| 3.2 - Influência da inclinação do planeta nas estações do ano ....   | 3.6         |
| 3.3 - Efeito do movimento orbital no comprimento do dia .....  | 3.8         |
| 3.4 - Relação entre o ângulo Zenital Solar, Z; a latitude, $\phi$ ; a de<br>clinação solar, S; o ângulo horário, h; e o ângulo azimute do<br>Sol, $\alpha$ . .....   | 3.10        |
| 3.5 - Estrutura da atmosfera .....   | 3.16        |
| 3.6 - O espectro eletromagnético .....   | 3.18        |
| 3.7 - Sensibilidade do olho humano de um observador padrão à radia<br>ção solar visível .....  | 3.19        |
| 3.8 - Modelo de linha da absorção espectral .....  | 3.22        |
| 3.9 - Meio homogêneo limitado por superfícies plano-paralelas ....   | 3.24        |
| 3.10 - Distribuição da densidade de fluxo de radiação por unidade de<br>comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ) para três temperaturas (Lei de<br>Planck) .....  | 3.28        |
| 3.11 - O espectro solar: Densidade de fluxo de radiação solar por<br>unidade de comprimento de onda .....  | 3.29        |
| 3.12 - Distribuição relativa das densidades de fluxo de radiação so<br>lar (6000 K) e terrestre (254 K) por unidade de comprimento<br>de onda .....  | 3.30        |
| 3.13 - Absorvidade da radiação solar para os gases metano ( $\text{CH}_4$ ) óxi<br>do nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ), gás carbôni<br>co ( $\text{CO}_2$ ) e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ..... | 3.32        |
| 3.14 - Balanço de energia total e parciais .....   | 3.37        |
| 3.15 - Direção dos fluxos de energia na superfície, durante o dia e<br>a noite, seguindo simbologia da Figura 3.14 e texto .....   | 3.45        |

## LISTA DE TABELAS

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 3.1 - Fontes de energia de grande escala .....  | 3.4         |
| 3.2 - Dados físicos dos planetas .....  | 3.5         |
| 3.3 - Constituintes permanentes do ar .....   | 3.13        |
| 3.4 - Constituintes variáveis do ar .....   | 3.14        |
| 3.5 - Albedo (%) para a porção de ondas curtas do espectro <u>ele</u><br>tromagnético ..... | 3.35        |



## CAPÍTULO 3

### NOÇÕES SOBRE RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE

#### 3.1 - SOL COMO FONTE DE ENERGIA

##### 3.1.1 - GENERALIDADES

O sol fornece 99,97% do calor necessário para os processos físicos que acontecem no sistema terra - atmosfera. A cada minuto o sol irradia aproximadamente  $56 \times 10^{26}$  cal de energia.

##### - Definição

*Caloria* (cal) quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de 1 grama de água de  $1^{\circ}\text{C}$  (de  $14,5^{\circ}\text{C}$  a  $15,5^{\circ}\text{C}$ ). Em termos de energia por unidade de área e de tempo incidente em uma superfície, concêntrica com o sol e de raio  $1,5 \times 10^{13}$  cm (distância média entre o Sol e a Terra), esta energia é igual a:

$$S = \frac{56 \times 10^{26} \text{ cal min}^{-1}}{4\pi (1,5 \times 10^{13} \text{ cm})^2} = 2.0 \text{ ly min}^{-1}$$

onde S é a constante solar.

##### - Definição

$$\text{Langley (ly)} = 1 \text{ cal cm}^{-2}$$

A constante solar é normalmente definida como sendo o fluxo de radiação solar que chega ao topo da atmosfera terrestre e é recebido em uma superfície perpendicular à direção do Sol à distância média entre o Sol e Terra (Figura 3.1).

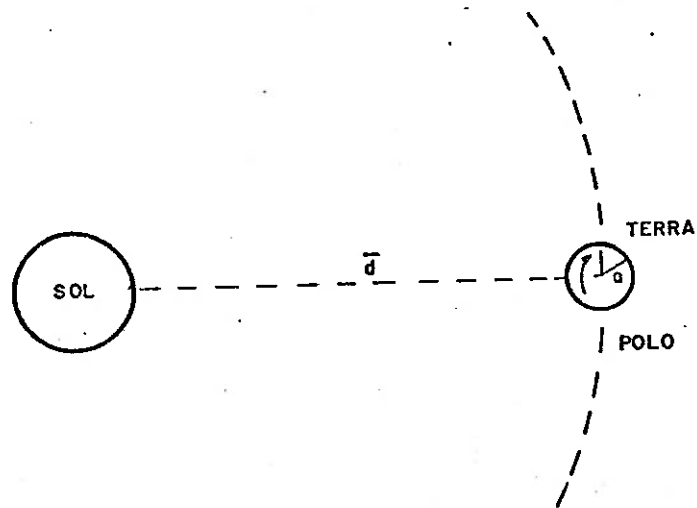


Fig. 3.1 - Sistema Sol-Terra.

- A Terra, a uma distância  $\bar{d}$  do Sol, intercepta radiação segundo uma área de secção transversal,  $\pi\bar{a}^2$ , e essa radiação é distribuída para toda a superfície,  $4\pi\bar{a}^2$ , devido a rotação em torno do eixo.

*Fluxo de Energia:* Energia por unidade de área, por unidade de tempo.

A constante solar tem sido medida desde o começo deste século por vários cientistas, e na literatura, aparecem valores diversos. O valor aceito atualmente é  $S = 1.95 \text{ ly min}^{-1}$  (Drummond, 1970).

Usar-se-á  $S = 2.0 \text{ ly min}^{-1}$  por questão de conveniência.

NOTA: Atualmente, existe uma tendência de uniformizar o sistema de unidades em ciência geofísicas. O sistema de unidades escolhido é o MKS. No MKS:

$$1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} = 1 \text{ ly min}^{-1} = 697,5 \text{ Watt/m}^2$$

ou

$$1 \text{ W m}^{-2} = 1,434 \times 10^{-3} \text{ ly min}^{-1}$$

A energia total interceptada pela Terra, por unidade de tempo, é igual a  $\pi a^2 S$ , onde  $a$  é o raio médio da Terra ( $a = 6,37 \times 10^8 \text{ cm}$ ) (Figura 3.1); logo:

$$\pi a^2 S = 2,55 \times 10^{18} \text{ cal min}^{-1} = 3,67 \times 10^{21} \text{ cal dia}^{-1}$$

Esta energia é espalhada uniformemente sobre toda a superfície terrestre (a Terra gira). A quantidade de energia recebida por unidade de área e tempo, no topo da atmosfera, é um quarto da constante solar, ou seja:

$$Q_{\text{Topo}} = \frac{\text{Energia interceptada}}{\text{Área total da Terra}} = \frac{\pi a^2 S}{4\pi a^2} = \frac{S}{4} = 0,5 \text{ ly min}^{-1} =$$
$$= 236 \text{ kly . ano}^{-1}.$$

Na realidade a distribuição não é uniforme; o valor anual no equador é cerca de 2,4 vezes o valor nos pólos.

O Sol é a fonte principal de energia.

A Tabela 3.1 compara a energia solar recebida na Terra com outras grandes fontes de energia que atuam continuamente ou quase continuamente na atmosfera e sua periferia.

TABELA 3.1

FONTES DE ENERGIA DE GRANDE ESCALA  
(Tomando-se o Sol como unidade)

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1/4 da constante solar.....                    | 1                   |
| Fluxo de calor do interior da Terra .....      | $18 \times 10^{-5}$ |
| Radiação infravermelha da lua cheia .....      | $3 \times 10^{-5}$  |
| Radiação solar refletida pela lua cheia .....  | $1 \times 10^{-5}$  |
| Combustão de carvão, óleo e gás nos EUA .....  | $7 \times 10^{-6}$  |
| Energia dissipada por descargas elétricas .... | $6 \times 10^{-6}$  |
| Energia de radiação cósmica .....              | $9 \times 10^{-8}$  |
| Radiação total das estrelas .....              | $4 \times 10^{-8}$  |

3.1.2 - PARÂMETROS ORBITAIS DOS PLANETAS

Na seção anterior foi visto que a quantidade de radiação solar interceptada por um planeta (no caso, a Terra) depende da distância do planeta ao Sol e do raio do planeta. Porém, a distribuição dessa energia e, conseqüentemente, do clima sobre a superfície de um planeta, dependem de outros parâmetros orbitais além de composição da atmosfera e das características da superfície (percentagem de água e terra, montanhas, vegetação etc.). A Tabela 3.2 lista os parâmetros orbitais.



TABELA 3.2

DADOS FÍSICOS DOS PLANETAS

| PLANETA  | MASSA<br>( $\times 10^{26}$ gm) | RÁDIO<br>MÉDIO<br>(km) | DENSIDADE<br>MÉDIA<br>( $\text{gm cm}^{-3}$ ) | ACELERAÇÃO<br>DA GRAVIDADE<br>DE<br>( $\text{cm seg}^{-2}$ ) | DISTÂNCIA<br>MÉDIA DO<br>SOL<br>( $10^6$ km) | DURAÇÃO<br>DO ANO<br>(DIAS) | INCLINAÇÃO<br>(GRAUS) | EXCENTRI-<br>CIDADE<br>DA ORBI-<br>TA | PERÍODO<br>DE ROTA-<br>ÇÃO<br>(DIAS) | CONSTANTE<br>SOLAR<br>( $\text{ly/min}$ ) |
|----------|---------------------------------|------------------------|---|--|--|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Mercúrio | 3,35                            | 2.439                  | 5,51  | 376  | 58   | 88                          | (0) †                 | 0,206                                 | 58,7                                 | 13,19                                     |
| Vênus    | 48,7                            | 6.049                  | 5,26  | 888  | 108  | 225                         | < 3                   | 0,007                                 | -243(*)                              | 3,73                                      |
| Terra    | 59,8                            | 6.371                  | 5,52  | 981  | 150  | 365                         | 23,5                  | 0,017                                 | 1,00                                 | 1,95                                      |
| Marte    | 6,43                            | 3.390                  | 3,94  | 373  | 228  | 687                         | 25,2                  | 0,093                                 | 1,03                                 | 0,86                                      |
| Júpiter  | 19.100,00                       | 69.500                 | 1,35  | 2.620  | 778  | 4.330                       | 3,1                   | 0,048                                 | 0,41                                 | 0,07                                      |
| Saturno  | 5.690,00                        | 58.100                 | 0,69  | 1.120  | 1.430  | 10.800                      | 26,8                  | 0,056                                 | 0,43                                 | 0,0215                                    |
| Urano    | 877,00                          | 24.500                 | 1,44  | 975  | 2.870  | 30.700                      | 98,0                  | 0,047                                 | -0,89(*)                             | 0,0053                                    |
| Netuno   | 1.030,00                        | 24.600                 | 1,65  | 1.134  | 4.500  | 60.200                      | 28,8                  | 0,009                                 | 0,53                                 | 0,0022                                    |
| Plutão   | 11,00                           | -                      | -   | -  | 5.900  | 90.700                      | -                     | 0,247                                 | (6,39)†                              | 0,0013                                    |

NOTA: ( ) Dados em parênteses são incertos

(\*) Vênus e Urano giram no sentido oposto ao dos outros planetas.

O comprimento do ano, ou seja, o período que o planeta leva para completar uma revolução em torno do Sol, é uma das escalas de tempo fundamentais, existente na atmosfera; este período determina as estações do ano, e o comportamento da atmosfera varia com as estações.

As duas quantidades que determinam a intensidade das variações sazonais são a *inclinação* e a *excentricidade* da órbita. A mais importante é a inclinação, ou seja, o ângulo entre o equador do planeta e a órbita (Figura 3.2). Imagine um planeta que tem inclinação de  $90^\circ$ , o que é quase o caso de Urano. O eixo de rotação de um planeta aponta sempre na mesma direção. Em um certo estágio de revolução do planeta em torno do Sol, o pólo norte aponta direto para o Sol e, para um observador colocado nesse planeta, o Sol estaria direta e continuamente acima de sua cabeça no pólo norte, enquanto o Hemisfério Sul inteiro estaria no escuro. Quando o planeta chegar na posição oposta da órbita, acontece o inverso.

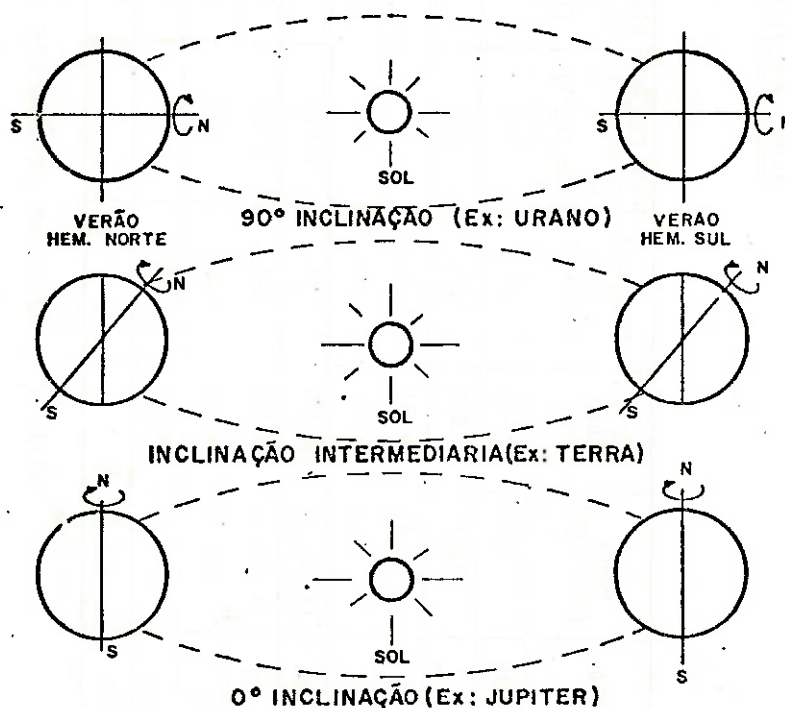


Fig.3.2 - Influência da Inclinação do planeta nas estações do ano.

O equador de Júpiter, por outro lado, está localizado quase que no plano da órbita. Mudanças sazonais são pequenas porque o Sol nunca está mais do que a  $3^\circ$  do equador. A Terra e a maioria dos outros planetas são exemplos de inclinação intermediária. Variações das estações do ano são marcantes, mas contínuas iluminações ou escuridões somente ocorrem nas regiões polares.

A segunda causa das variações sazonais é a excentricidade da órbita em torno do Sol, ou seja, o quanto a órbita se desvia de um círculo. O ponto da órbita mais próximo do Sol é chamado periélio e o mais distante afélio. Mercúrio e Plutão têm excentricidade relativamente grandes o que significa que, no periélio, eles estão expostos à radiação solar mais intensa que no afélio. A Terra, por exemplo, passa pelo periélio durante o verão do Hemisfério Sul e pelo afélio no inverno. Portanto as mudanças sazonais são mais intensas no Hemisfério Sul que no Hemisfério Norte. Se todas as outras condições fossem idênticas, o inverno do Hemisfério Sul seria mais frio que o do Hemisfério Norte, e o verão mais quente. Em Marte, o mesmo efeito permitiria a cobertura de gelo no Hemisfério Norte persistir durante o verão, enquanto a cobertura de gelo do Hemisfério Sul desapareceria durante o verão.

O período de rotação ou o tempo que um planeta leva para completar uma volta em torno de seu próprio eixo é outra escala de tempo fundamental para o estudo de atmosferas planetárias. O período de rotação está também relacionado com o comprimento do dia, mas com uma complicação. Para um observador no planeta, a revolução em torno do Sol é equivalente ao caminho diário do Sol através dos céus. Na verdade, o observador ganha ou perde um pôr e um nascer de sol por ano, dependendo da relação entre os 2 sentidos de rotação. A Figura 3.3 ilustra o efeito de movimento orbital no comprimento do dia. Suponha-se que um planeta com um lado marcado gire sobre seu próprio eixo no mesmo sentido e com a mesma velocidade angular que ela gira em torno do Sol. O resultado é que o lado marcado fica permanentemente voltado para o Sol e tem um dia infinitamente longo. Planetas que giram no mesmo sentido em torno de si e em torno do Sol perdem uma rotação por ano.

Vênus, ao contrário, ganha uma rotação por ano, pois a rotação em torno do seu eixo é de sentido contrário ao da rotação em torno do Sol. Quando o dia é muito mais curto que o ano, a diferença entre o comprimento do dia e o período de rotação pode ser considerada desprezível para nossos propósitos. Somente para Vênus e Mercúrio é que ela é significativa. Vênus tem um dia igual a 117 dias da Terra e Mercúrio tem um dia igual a 176 dias da Terra.

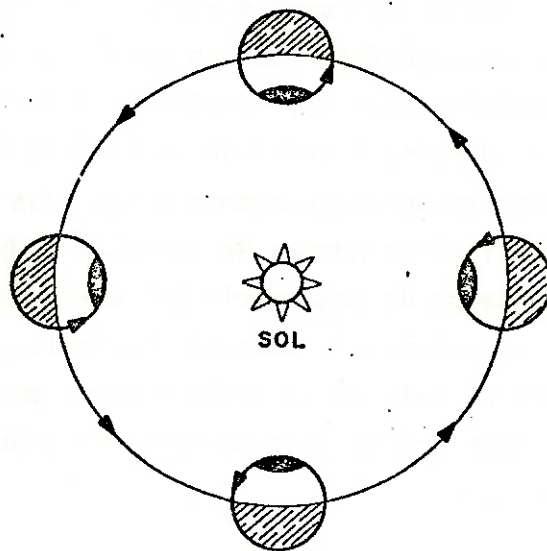


Fig. 3.3 - Efeito do movimento orbital no comprimento do dia.

- O planeta exemplificado gira síncrono em sua órbita e em torno do seu eixo. O dia, portanto, tem duração infinita.

### 3.2 - RADIAÇÃO SOLAR NO TOPO DA ATMOSFERA

A quantidade de radiação solar incidente no topo da atmosfera depende do tempo do ano, da hora do dia e da latitude. Seja

Ah um elemento de área paralelo à superfície da Terra no topo da atmosfera e An sua projeção num plano normal aos raios solares, num dado instante segue-se que

$$\cos Z = \frac{A_n}{A_h}$$

onde Z é o ângulo zenital do Sol, ou seja, o ângulo que o Sol faz com a vertical local. A quantidade de energia que passa através da área Ah deve ser igual à que passa por An. Usando-se a definição de constante solar tem-se:

$$S \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 A_n = Q'_s A_h \quad (3.1)$$

onde d e  $\bar{d}$  são respectivamente as distâncias instantâneas e média entre o Sol e a Terra e  $Q'_s$  é o fluxo num dado instante de radiação solar através da área Ah.

Combinando-se as duas equações acima tem-se:

$$Q'_s = S \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 \cos Z \quad (3.2)$$

O ângulo zenital do Sol não é, em geral, medido diretamente e deve ser determinado a partir de outros ângulos conhecidos. Na Figura 3.4 (Humphreys, 1940) P é o ponto de observação no topo da atmosfera, e OV, o zênite através desse ponto. Se o Sol estiver na direção OS ou PS, o plano formado por OV e OS interceptará a superfície da Terra em um grande círculo, e o ângulo VOS, medido pelo arco PX desse círculo, é igual à distância angular Sol-Zênite. No triângulo esférico NPX, o arco NX (X é o subponto do Sol) é igual a  $90^\circ$  menos a declinação solar,  $\delta$ , ou seja, a distância angular do subponto X ao equador (*positivo* para o Hemisfério Norte e *negativo* para o Hemisfério Sul). Finalmente, o arco NP é igual a  $90^\circ$  menos a latitude,  $\phi$ , do ponto de observação e o ângulo  $h$  é o ângulo horário ou o ângulo que a Terra deve girar para trazer o ponto P diretamente sob o Sol ( $P \rightarrow X$ ).

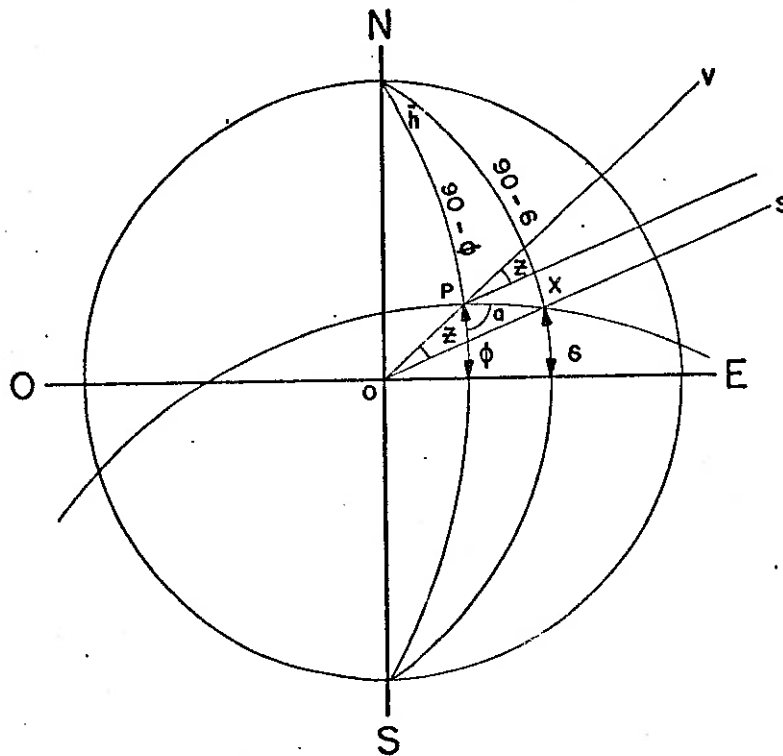


Fig. 3.4 - Relação entre o ângulo Zênital Solar, Z; a latitude;  $\phi$ ; a declinação solar,  $\delta$ ; o ângulo horário, h, e o ângulo azimute do Sol, a.

Da trigonometria esférica segue-se que:

$$\cos Z = \sin \phi \sin \delta + \cos \delta \cos \phi \cos h \quad (3.3)$$

A declinação solar ( $\delta$ ) é função do dia do ano somente e independe da localização do ponto de observação. Ela varia de  $23^{\circ} 27'$  em 21 de junho a  $- 23^{\circ} 27'$  em 22 de dezembro. Valores para cada dia e hora podem ser obtidos no Anuário do Observatório Astronômico. O ângulo horário é zero ao meio-dia solar, isto é, quando o Sol está diretamente ao sul ou ao norte do ponto de observação e aumenta  $15^{\circ}$  para cada ho

ra antes ou depois do meio-dia solar (Sol a pino). As 06:00 h, por exemplo, o ângulo horário é  $90^{\circ}$ . Consequências da Equação 3.3.

1. Nos pólos:

$$\cos \phi = 0 \quad \text{sen } \phi = 1 \quad \text{e} \quad \cos Z = \text{sen } \delta \quad \text{ou} \quad 90^{\circ} - Z = \delta$$

Então nesses pontos, o ângulo de elevação do sol é sempre igual ao ângulo de declinação, e durante 6 meses de luz solar (0 "dia" polar) o Sol simplesmente circula acima do horizonte, nunca se elevando mais do que  $23.5^{\circ}$ . A transição entre o dia e a noite polar ocorre nos equinócios (20 de março e 23 de setembro), quando a declinação  $\delta = 0$  e o caminho do Sol coincide com o horizonte.

2. Com o Sol a pino (meio dia solar) em qualquer latitude  $\cos h = 1$ , pois  $P \rightarrow X$  e  $Z = \phi - \delta$ , pois  $\cos Z = \text{sen } \phi \text{ sen } \delta + \cos \phi \cos \delta = \cos(\phi - \delta)$

$$Z = \phi - \delta$$

3. Ao nascer ou por do Sol em qualquer latitude, exceto nos pólos  $\cos Z = 0$ ,  $h = H =$  período de meio dia e  $\cos H = \tan \phi \tan \delta$  (Equação 3.4). O período de meio dia será de 6 horas se  $\tan \phi = 0$  (no equador todos os dias) ou  $\tan \delta = 0$  (nos equinócios em todas as latitudes exceto nos pólos). A latitude da noite polar pode ser calculada colocando-se  $H = 0$  na Equação 3.4. Então:

$$\tan \phi = \cot \delta \quad (\delta \neq 0)$$

e a latitude da noite polar é igual a  $90^{\circ} - \delta$  no inverno.

Na Figura 3.4, o ângulo de azimute do Sol pode ser obtido, aplicando-se a lei dos senos para o triângulo esférico NPX:

$$\text{Sen } a = \frac{\cos \delta \text{ sen } h}{\text{sen } Z} \quad (3.5)$$

ou pela lei dos cossenos:

$$\cos a = \frac{\sin \phi \cos Z - \sin \delta}{\cos \phi \sin Z}$$

Ao nascer ou por do Sol  $\cos Z = 0$ ,  $\sin Z = 1$   $h = H$  e:

$$\sin a_0 = \cos \delta \sin H \quad \text{ou} \quad \cos a_0 = - \frac{\sin \delta}{\cos \phi}$$

A radiação solar total incidente numa superfície horizontal no topo da atmosfera ( $Q_s$ ) pode ser determinada somando-se ou integrando-se a Equação (3.1) do nascer ao por do Sol. O resultado é o seguinte:

$$Q_s = \int_{-H}^H Q'_s dt = \frac{1440}{\pi} S \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 (H \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin H) \text{ly/dia} \quad (3.6)$$

### 3.3 - CONSTITUIÇÃO DA ATMOSFERA

#### 3.3.1 - COMPOSIÇÃO DO AR

A atmosfera é composta por um grupo de gases quase-permanentes, um grupo de gases de concentração variáveis e várias partículas sólidas e líquidas. Se forem removidos o vapor d'água, o  $\text{CO}_2$  e o ozônio, os gases restantes são quase que constantes em proporção até cerca de 90 quilômetros. A Tabela 3.3 mostra a concentração desses constituintes permanentes do ar. Na Tabela 3.3, vê-se que o nitrogênio, o oxigênio e o argônio somam 99,997% do total dos gases permanentes. Embora a concentração desses gases seja considerada invariante, pequenas variações temporais e espaciais podem ser observadas; a uniformidade das proporções é produzida pela mistura associada com os movimentos atmosféricos. Acima de 90 km, a proporção de gases leves cresce com a altura devido à difusão molecular ser mais importante que a mistura.

Os principais gases variáveis são listados na Tabela 3.4. Variações do gás carbônico são causadas por combustão, por absorção e por liberação nos oceanos e na biomassa; estas variações tem um



efeito significativo para absorção e para a emissão de radiação infra vermelha na atmosfera. As variações de vapor de água e de ozônio se rão discutidas mais adiante. Os outros gases na Tabela 3.4 são produ tos de combustão e de poluição, que natural (no caso de vulcões por exemplo) quer antropogênica (indústria, por exemplo).

TABELA 3.3

CONSTITUINTES PERMANENTES DO AR

| GÁS           | FÓRMULA          | MASSA MOLECULAR | % POR VOLUME                       |
|---------------|------------------|-----------------|------------------------------------|
| Nitrogênio    | N <sub>2</sub>   | 28,016          | 78,110 ± 0,004                     |
| Oxigênio      | O <sub>2</sub>   | 31,9986         | 20,953 ± 0,001                     |
| Argônio       | Ar               | 39,942          | 0,934 ± 0,001                      |
| Neônio        | Ne               | 20,182          | (18,18 ± 0,04) × 10 <sup>-4</sup>  |
| Hélio         | He               | 4,003           | (5,24 ± 0,004) × 10 <sup>-4</sup>  |
| Criptônio     | Kr               | 83,80           | (1,14 ± 0,01) × 10 <sup>-4</sup>   |
| Xenônio       | Xe               | 131,3           | (0,087 ± 0,001) × 10 <sup>-4</sup> |
| Hidrogênio    | H <sub>2</sub>   | 2,016           | 0,5 × 10 <sup>-4</sup>             |
| Metano        | CH <sub>4</sub>  | 16,043          | 2 × 10 <sup>-4</sup>               |
| Óxido Nitroso | N <sub>2</sub> O | 44,015          | (0,5 1,0) × 10 <sup>-4</sup>       |

As partículas sólidas e líquidas que estão em suspensão na atmosfera (aerossóis) têm papel importante na formação de nuvens e serão discutidas mais adiante.

TABELA 3.4

CONSTITUINTES VARIÁVEIS DO AR

| GAS                   | FÓRMULA          | MASSA MOLECULAR | % POR VOLUME                               |
|-----------------------|------------------|-----------------|--|
| Água                  | H <sub>2</sub> O | 18,005          | 0 a 7,0                                    |
| Gás Carbônico         | CO <sub>2</sub>  | 44,009          | 0,01 a 0,1 (perto do chão)<br>média: 0,032 |
| Ozônio                | O <sub>3</sub>   | 47,998          | 0 a 0,01                                   |
| Oxido Sulfuroso       | SO <sub>2</sub>  | 64,064          | 0 a 0,0001                                 |
| Dióxido de Nitrogênio | NO <sub>2</sub>  | 46,007          | 0 a 0,00002                                |

### 3.3.2 - ESTRUTURA DA ATMOSFERA

A atmosfera terrestre é um grande envoltório de gases que cerca a superfície da Terra e se estende para cima com a densidade da mistura decrescendo continuamente. Não existe um limite brusco nesta atmosfera; ela vai diminuindo lentamente até que merge com a "atmosfera" do Sol. O decréscimo de densidade com a altura é tão rápido a princípio que metade da atmosfera se encontra abaixo de 6 km, e 3/4 da atmosfera estão contidos abaixo de 12 km de altura. O aumento de densidade em direção ao chão é devido à compressão exercida pela gravidade terrestre. Na superfície, a uma temperatura de 0°C e a uma pressão de 76 cm de mercúrio (CNTP), a densidade de ar, resultante dessa compressão, é 1,3 kg/m<sup>3</sup>

Muito embora a atmosfera consista de uma mistura homogênea de gases até cerca de 90 km de altura, sendo muito tênue acima dos 12 km; ela não é fisicamente homogênea, possuindo uma estrutura de camadas concêntricas. Esta estrutura pode ser descrita de acordo com um certo número de diferentes condições de referências, basicamente físicas. Superimpostas a esta estrutura física, estão as considerações de composição; por exemplo, a estratificação térmica, que é mais importante sob o ponto de vista de mudanças de tempo e que resulta do interrelacionamento das diversas fontes de calor na atmosfera. Ainda superimpostas a esta estrutura física estão os efeitos relacionados à ionização dos gases, que produzem camadas atmosféricas não diretamente ligadas à estrutura da temperatura, ou seja, na alta atmosfera existem camadas que são identificadas pela diferença em composição em vez de diferença física.

A Figura 3.5 mostra a estrutura da temperatura na atmosfera. A camada mais baixa, a *Troposfera*, contém a maior parte de ar e é caracterizada por um quase-uniforme decréscimo de temperatura com a altura. Sob o ponto de vista de Meteorologia, é a camada mais importante, pois nela ocorre a maior parte dos fenômenos de tempo. A *Troposfera* tem uma espessura média de aproximadamente 12 km, sendo que no equador ela é mais espessa que nos pólos.

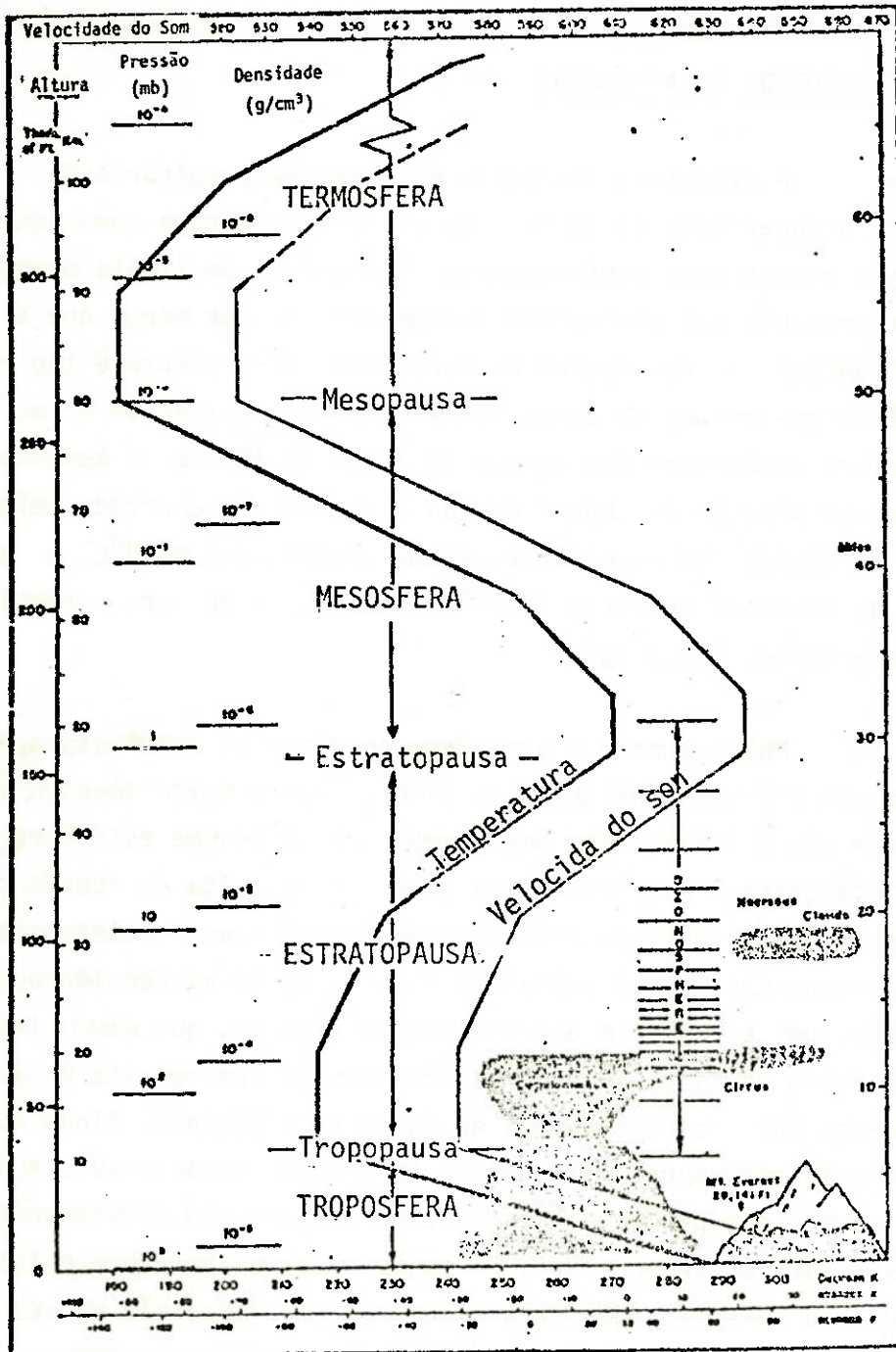


Fig. 3.5 - Estrutura da Atmosfera.

- Classificação segundo a temperatura (Traço contínuo mais espesso). No lado esquerdo estão assinaladas: a Altitude (em pés e km) a Pressão (em milibares, mb) e a Densidade (em g/cm<sup>3</sup>). Na escala horizontal, em baixo, tem-se a Temperatura.

FONTE: Miller e Thompson (1970).

Acima da troposfera está a Estratosfera caracterizada por uma estrutura isotérmica na porção mais baixa seguida de um aumento de temperatura na porção mais alta. A estratosfera é a outra camada importante para a Meteorologia. De destaque especial na estratosfera é a camada de ozônio ( $O_3$ ) cuja concentração máxima está em torno de 25 km. A grande importância do  $O_3$  reside no fato de que o  $O_3$  absorve a maior parte da radiação ultravioleta proveniente do Sol. Os raios ultravioleta em grande intensidades são altamente perniciosos para a vida animal e vegetal, se não existisse essa camada de ozônio não haveria vida sobre a Terra. A espessura da estratosfera é aproximadamente 35 km (de 12 km a 47 km). As outras camadas da atmosfera superior, *Mesosfera* (47 km a 80 km) e *Termosfera* (80 km a ?) não têm muita importância do ponto de vista meteorológico. Os limites superiores das três primeiras camadas são conhecidas como *Tropopausa*, *Estratopausa* e *Mesopausa*, respectivamente, sendo que esta última é a região de mais baixa temperatura na atmosfera. Note-se que esses limites são determinados pela mudança de inclinação do perfil de temperatura (a base da camada é isotérmica).

O termo *Ionosfera* provém da classificação feita, utilizando-se o critério de composição de camada. Esta camada se estende de 50 km para cima (portanto, coincide com a mesosfera e a termosfera) e é rica em *ions*. A importância dessa camada está no fato de que ela possibilita a comunicação por meio de ondas longas de rádio.

### 3.4 - LEIS DE RADIAÇÃO

#### 3.4.1 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Maxwell mostrou que a luz é um componente de espectro eletromagnético, representado na Figura 3.6; todas estas ondas são eletromagnéticas em sua natureza e se propagam com a mesma velocidade  $C = 2.997930 \times 10^8 \text{ m. sec}^{-1}$  no vácuo. Elas diferem em comprimento de onda (portanto, em frequências), o que significa que as fontes que as produzem e instrumentos que as medem são bastantes distintas. O espec

tro eletromagnético não tem limites inferior ou superior. Na Figura 3.6 estão marcados os intervalos de frequência nos quais um corpo comum de técnica experimental, como por exemplo fontes e detetores, existe. Todos estes intervalos têm uma certa região de superposição. Por exemplo, pode-se produzir radiação de comprimento de onda  $10^{-3}$  metros por técnicas de microondas (oscilador de microondas) ou por técnicas de infravermelho (fontes incandescentes).

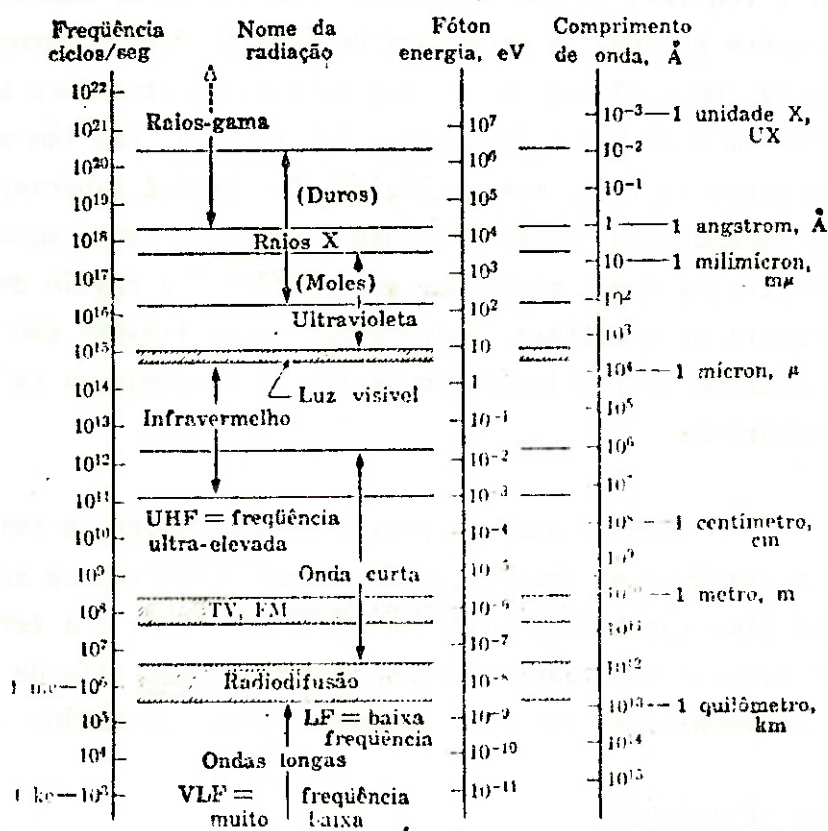


Fig. 3.6 - O espectro eletromagnético

- Classificação segundo comprimento da onda (eixo direito) e frequência (eixo esquerdo).

· FONTE: Fleagle e Businger (1963).



Luz é definida como sendo a radiação que afeta os olhos (espectro visível). A Figura 3.7 mostra a sensibilidade relativa do olho humano de um "observador padrão" às radiações de vários comprimentos de ondas; o centro do visível é aproximadamente  $5.55 \times 10^{-7}$  metros ou seja verde-amarelo.

Lembre-se que a convenção de unidades adotada é:

$$1 \text{ metro} = 10^6 \text{ mícron} = 10^9 \text{ nanometro (ou milimicron)} = 10^{10} \text{ angstrom.}$$

(m)                      (μm)                      (nm)                      (Å)

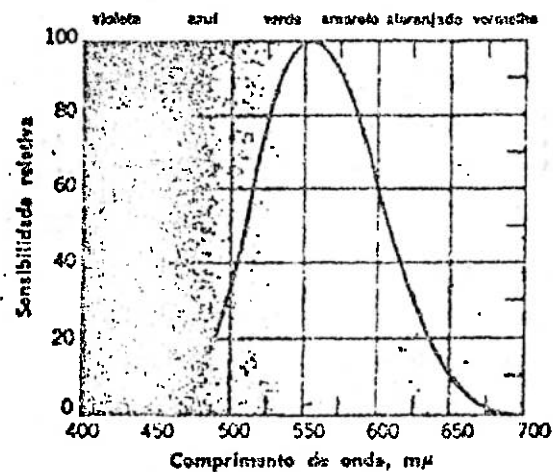


Fig. 3.7 - Sensibilidade do olho humano de um observador padrão à radiação solar visível.

- Notem-se que o máximo de sensibilidade ocorrem em  $0.55 \mu\text{m}$  ( $550 \text{ nm}$ ) ou seja comprimento de onda verde.

### 3.4.2 - ABSORÇÃO E EMISSÃO DE RADIAÇÃO

A Radiação é absorvida quando passa através de matéria, e a fração absorvida é uma característica do material. A razão da radiação absorvida para a radiação incidente a um certo comprimento de onda é chamada *absortividade monocromática* ( $a_\lambda$ ), e usualmente é função do comprimento de onda. Um corpo com absortividade igual a unidade para todos os comprimentos de onda é chamado *corpo negro*. Corpos Negros perfeitos não existem na natureza mas eles se aproximam bem de

perto ao corpo negro ideal, especialmente no infravermelho. Os corpos naturais, em particular os gases que compõem as atmosferas dos planetas, são seletivos quanto à absorção de radiação eletromagnética, isto é, absorvem (emitem) apenas em certos comprimentos de onda (lembre-se que  $\lambda = c/v$ !)

De acordo com a teoria quântica, a energia associada à radiação pode ser idealizada como se existisse em forma de "pacotes" discretos ou "quanta" de radiação. O "quantum" de energia está relacionado à frequência da radiação ( $\nu$ ) pela expressão:

$$E = h\nu$$

onde  $h = 6,624 \times 10^{-27}$  erg.s é a constante universal de Planck.

Considere-se um modelo simples de átomo com um núcleo e elétrons orbitando ao seu redor. Para os elétrons ocuparem órbitas com níveis de energia superiores a seu estado básico, eles precisam absorver energia, essa absorção é discreta ou seja, um elétron somente passará para um nível superior se o quantum de energia for exatamente igual à energia necessária para a mudança de nível, caso contrário a transição eletrônica não se dará. Admitindo-se que a radiação incidente tenha uma distribuição contínua de frequência e de energia, existe sempre grande probabilidade de, em uma amostra de matéria, se encontrarem átomos com elétrons em diversos níveis de energia que "capturem" os correspondentes quanta que os elevarão de nível energético. A absorção de energia quantizada para a transição eletrônica produz uma "linha de absorção" no espectro da radiação incidente. Inversamente, se uma amostra de matéria contém elétrons em níveis mais altos de energia devido à excitação (absorção) prévia, existe grande probabilidade desses elétrons voltarem aos níveis iniciais, emitindo quanta de energia que correspondem à diferença de energia entre os níveis em que ocorrem a transição. Surge, então, uma "linha de emissão" no espectro.

Para moléculas poliatômicas, além da energia associada a transições eletrônicas existem a energia associada à vibração dos



átomos que compõem a molécula e a energia associada à rotação da molécula. Essas energias vibracional e rotacional também são quantizadas, isto é, nem todas amplitudes de vibração ou taxas de rotação são permitidas.

Em geral, as quantidades maiores de energia (frequências altas) estão associadas a transições eletrônicas; quantidades intermediárias (frequências médias) a transições vibracionais, e quantidades menores (frequências baixas) a transições rotacionais. Em outras palavras, absorção eletrônica é normalmente encontrada nas regiões espectrais entre raios gama e radiação visível, absorção vibracional entre o infravermelho próximo e o infravermelho e absorção rotacional entre o infravermelho e microondas. É importante notar que as três transições ou combinação delas podem ocorrer simultaneamente.

A Figura 3.8 representa um modelo de linha de absorção com o coeficiente de absorvidade monocromática ( $k_\lambda$ ), variando simetricamente (função gaussiana de distribuição de probabilidades) do centro ( $\lambda_0$ ) para a asa da linha, sendo máximo em  $\lambda_0$  ( $k_0$ ). Um parâmetro importante é a meia-largura ( $\alpha$ ) da linha de absorção, definido como sendo a distância entre o centro da linha ( $\lambda_0$ ) e o comprimento de onda, onde o coeficiente de absorvidade monocromática ( $k_\lambda$ ) se reduz à metade do valor central, ou seja,  $k_\lambda = k_0/2$ . A equação que se segue, expressa a variação do coeficiente de absorvidade em função do comprimento de onda e da meia-largura (Equação de Lorentz).

$$k_\lambda = \frac{k_0 \alpha^2}{(\lambda - \lambda_0)^2 + \alpha^2}$$

entre os fatores que afetam a meia-largura ( $\alpha$ ) da linha de absorção, é conseqüentemente o coeficiente de absorção monocromática ( $k_\lambda$ ), estão:

a) alargamento pela pressão, que pode ser escrito como:

$$\alpha = \alpha_s \left( \frac{p}{p_0} \right)^{1/2}$$

onde  $\alpha_s$  é a meia-largura ao nível  $p_0 = 1000$  mb; e

b) alargamento pelo efeito Doppler, associado ao movimento térmico das moléculas.

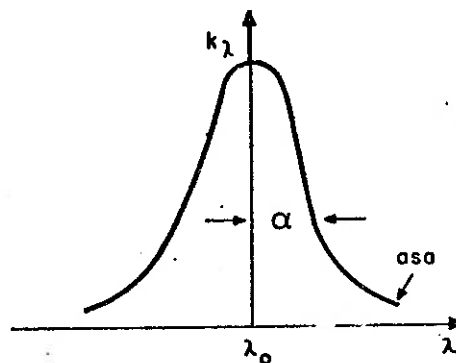


Fig. 3.8 - Modelo de linha de absorção espectral.

O primeiro é mais importante na troposfera e o segundo da estratosfera. Um conjunto de linhas de absorção espectral formam uma banda de absorção, cuja representação é similar à da linha de absorção ou seja uma função gaussiana.

Da radiação incidente que não é absorvida, parte é transmitida e parte é refletida. O quociente da radiação refletida para a incidente é chamada *refletividade* monocromática ( $r_\lambda$ ) e o quociente da transmitida para a incidente é chamado *transmissividade* monocromática ( $\tau_\lambda$ ). As três razões estão relacionadas por

$$a_\lambda + r_\lambda + \tau_\lambda = 1. \quad (3.7)$$

Para um corpo negro  $r_\lambda = \tau_\lambda = 0$ , ou seja,  $a = 1$  para todos os comprimentos de onda.

### 3.4.3 - LEIS

#### a) Lei de Kirchhoff

Para um certo comprimento de onda e uma certa temperatura, a absorptividade de um material é igual a sua emissividade ( $\epsilon_\lambda$ ), ou seja

$$a_\lambda = \epsilon_\lambda \quad (3.8)$$

A lei pode ser sentida através do seguinte exemplo: suponha-se que um corpo negro, a 270 K emita 10 unidades no comprimento de onda 0,5  $\mu\text{m}$  e que a superfície da Terra emita 9 unidades nos mesmos comprimentos de onda e temperatura. Por definição, a emissividade da Terra é igual a 0,9 a 270 K e 0,5  $\mu\text{m}$ . Como será visto mais adiante, na faixa do 0,5  $\mu\text{m}$  chega à superfície da Terra uma grande quantidade de energia solar, suponha-se 10.000 unidades para fins deste exemplo. Desde que a absorptividade da Terra é igual a uma emissividade, a Terra absorveria 9.000 unidades.

Embora a Terra, em valor absoluto, quase não emita energia, em 0,5  $\mu\text{m}$ , ela ainda é um eficiente absorvedor nesse comprimento de onda.

#### b) Lei de Beer

Referindo-se a Figura 3.9 suponha-se que entre (1) e (2) haja um meio homogêneo. A absorção nesse meio será diretamente proporcional à espessura da camada e à intensidade da radiação incidente ( $I_\lambda(x)$ ), ou seja,

$$dI_\lambda = -k_\lambda \rho dx \quad (3.9)$$

onde  $k_\lambda$  representa um coeficiente de absorção da camada e  $\rho$  é a densidade de substância.

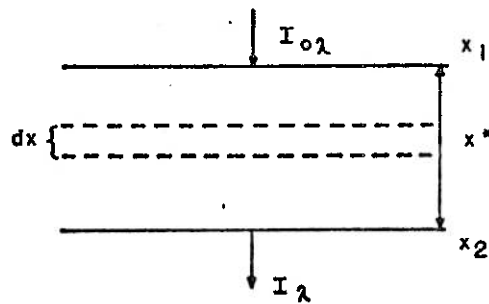


Fig. 3.9 - Meio homogêneo limitado por superfícies plano-paralelas.

Integrando-se a Equação (3.9) tem-se:

$$I_{\lambda} = I_{\lambda 0} e^{-k_{\lambda} \int_0^x \rho dx} \quad (3.10)$$

Esta expressão é conhecida como lei de Beer. Definindo-se a espessura óptica como:

$$u = \int_0^x \rho dx \quad (ML^{-2}) \quad (3.11)$$

ou seja, a massa do material absorvente pelo qual a radiação passa. Se a espessura óptica total for  $u^*$ , a transmissividade monocromática  $\tau_{\lambda}$  pode ser expressa por:

$$\tau_{\lambda} = \frac{I_{\lambda}(x_2)}{I_{\lambda 0}(x_1)} = e^{-k_{\lambda} u^*} \quad (3.12)$$

Se a refletividade da camada for igual a zero, então:

$$a_{\lambda} = 1 - \tau_{\lambda} = 1 - e^{-k_{\lambda} u^*}$$

### c) Equação de Shwarzschild

Considere-se um feixe de radiação de intensidade  $I_\lambda$  passando por uma camada onde tanto a absorção como a emissão acontecem. De acordo com as Equações 3.9 e 3.11, a radiação absorvida em uma espessura óptica  $du$  pode ser expressa por  $k_\lambda I_\lambda du$ . A lei de Kirchhoff exige que a emissão na camada seja  $k_\lambda I_\lambda^* du$ , onde  $I_\lambda^*$ , representa a emissividade monocromática do corpo negro. O saldo de intensidade total será:

$$\frac{dI_\lambda}{du} = K_\lambda (I_\lambda - I_\lambda^*) \quad (3.13)$$

A Equação 3.13 é conhecida como equação de Shwarzschild e pode ser integrada caso a temperatura e o coeficiente de absorção,  $a_\lambda$ , (também conhecido como coeficiente de extinção) forem conhecidos.

### d) Lei de Planck

A lei de Planck pode ser escrita sob forma de uma equação que estabelece a distribuição do fluxo de energia emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) e da temperatura do corpo negro ( $T$ );

$$I_\lambda = C_1 \lambda^{-5} \cdot [\exp (C_2 / \lambda T) - 1]^{-1} \quad (3.14)$$

onde  $I_\lambda$  é o fluxo de energia emitida na banda de  $\lambda$  a  $\lambda + d\lambda$ ;  $T$  é a temperatura absoluta, em graus Kelvin do corpo negro; e  $C_1$  e  $C_2$  são constantes. Como existe uma relação entre comprimento de onda e frequência, isto é,  $\lambda \nu = C$ , a lei de Planck pode ser escrita em termos de frequência:

$$I_\nu = C_3 \nu^3 [\exp (C_4 \nu / T) - 1]^{-1} \quad (3.15)$$

onde  $C_3$  e  $C_4$  são constantes.  $I_\nu$  é o fluxo de energia emitida pelo corpo negro na banda de frequência  $\nu$  a  $\nu + d\nu$  que é diferente da energia emitida em uma largura de banda  $d\lambda$ . A relação entre essas energias é:

$$E_\nu = \frac{\lambda^2}{c} I_\lambda \quad (3.16)$$

A distribuição do fluxo de energia de um corpo negro de acordo com a Lei de Planck é usualmente representada em um gráfico  $I_\lambda$  versus  $\lambda$ . A Figura 3.10 mostra  $I_\lambda$  do corpo negro a diferentes temperaturas.

A área sob uma dessas curvas, p.ex., a de 6.000 K, determina o fluxo total de energia emitida por todos comprimentos de onda. Esta energia, é obtida por integração da Lei de Planck e é conhecida como *lei de Stefan-Boltzmann*:

$$I = \int_0^\infty I_\lambda d\lambda = \frac{2k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty \frac{x^3 dx}{(e^x - 1)}$$

Nota: Para a derivação desta lei procurar tratados de Física. Os valores e unidades das constantes podem ser obtidos da seguinte maneira:

$$C_1 = 2\pi hc^2 \quad ; \quad C_2 = hc/k$$

$$C_3 = 2\pi h/c \quad ; \quad C_4 = h/k$$

onde:

$$h = \text{constante de Planck} \quad 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg}\cdot\text{seg}$$

$$k = \text{constante de Boltzmann} = 1.37 \times 10^{-16} \text{ erg/K}$$

$$c = \text{velocidade da luz} \approx 3 \times 10^{10} \text{ cm/seg.}$$

onde:

$$x = \frac{hc}{kT} ;$$

pode-se mostrar que

$$\int_0^{\infty} x^3 (e^x - 1) dx = \frac{\pi^4}{15}$$

ou seja:

$$I = \frac{2\pi^4 k^4}{15C^2 h^3} T^4 \equiv bT^4 \rightarrow I = \sigma T^4$$

#### d) Lei de Stefan-Boltzmann

A lei de Stefan-Boltzmann estabelece que o fluxo de energia emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta.

No caso do corpo em questão não ser um corpo negro, a Lei de Stefan-Boltzmann é escrita:

$$I = \epsilon \sigma T^4 \quad (3.17)$$

onde  $\epsilon$  é a emissividade do corpo em questão e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \text{ seg. } K^4} = 0.817 \times 10^{-10} \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ min } K^4}$$

O comprimento de onda, no qual o fluxo de energia é máximo, pode ser achado, diferenciando-se a Lei de Planck com respeito a  $\lambda$ . O resultado conhecido como *Lei de Wien*, é escrito:

$$\lambda_{\text{max}} T = \text{const.}$$

onde:

$$\text{const.} \equiv 0,2884 \text{ cm K} = 2884 \text{ } \mu\text{m K.}$$

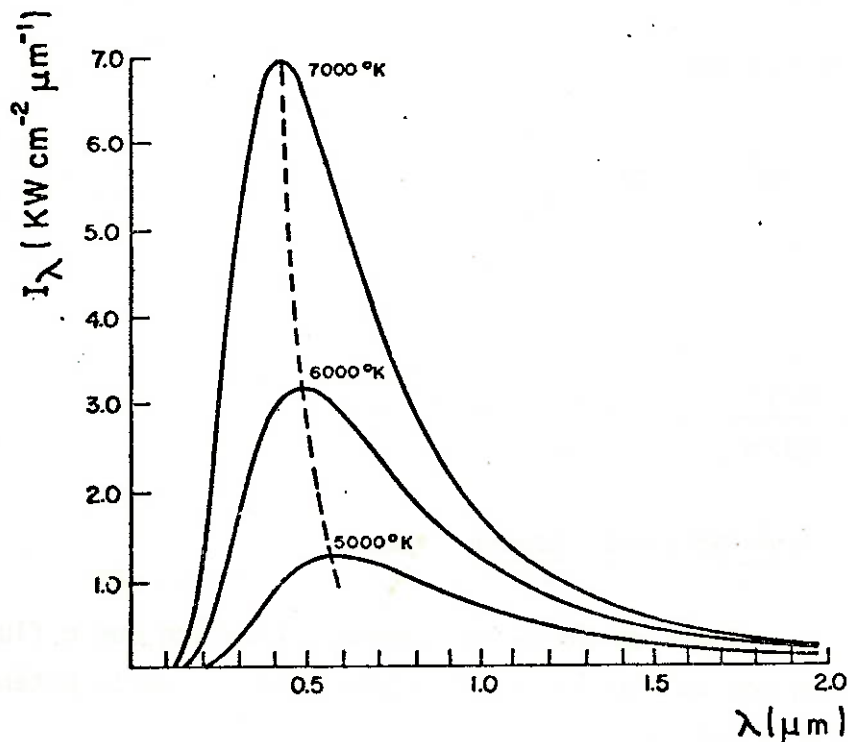


Fig. 3.10 - Distribuição da densidade de fluxo de radiação por unidade de comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ) para três temperaturas (lei de Planck).

#### 3.4.4 - O ESPECTRO SOLAR

A distribuição do fluxo de energia eletromagnética emitida pelo Sol pode ser vista na Figura 3.11 (linha sólida). As duas linhas tracejadas mostram a distribuição do fluxo para o corpo negro a temperaturas de 6000 K e 5700 K. Assumindo-se que o Sol irradia como um corpo negro a temperatura de 5700 K, a lei de Wien dá  $\lambda \approx 0.5 \mu\text{m}$ , ou seja, região do verde (comparar com a Figura 3-7). Acredita-se que a energia solar é produzida pela fusão de quatro átomos de hidrogênio formando um átomo de hélio (do grego helios = Sol). O pequeno decréscimo em massa que ocorre na reação é responsável pela formação da energia (Einstein:  $E = mc^2$ ). Um fenômeno interessante que acontece na su



perfície do Sol são as chamadas manchas solares. Não se sabe ao certo como elas formam. Acredita-se que o campo magnético desempenhe papel fundamental em sua formação e como o gás solar consiste de partículas eletricamente carregadas, o campo magnético exerce uma força sobre as partículas, impedindo o desenvolvimento de convecção e consequentemente o transporte de matéria do interior quente para a Fotosfera. Essa teoria explica porque as manchas aparecem como áreas escuras relativamente mais frias que a Fotosfera em volta. O tempo de vida das manchas solares varia de alguns dias a mais de um mês.

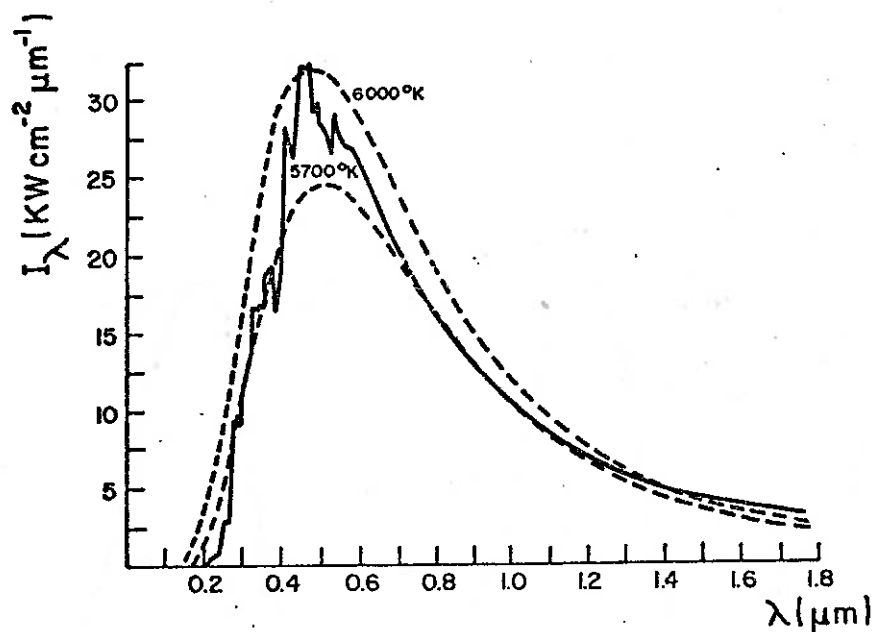


Fig. 3.11 - O espectro solar: Densidade de fluxo de radiação solar por unidade de comprimento de onda.

- Espectro Solar está aproximadamente limitado pelas curvas correspondentes a 6000 K e 5700 K.

### 3.5 - RADIAÇÃO E O SISTEMA TERRA-ATMOSFERA

A radiação solar recebida pela Terra é parcialmente refletida e parcialmente absorvida. Em um período longo, a energia absorvida deve ser igual à emitida pelo sistema Terra - atmosfera, para o espaço, senão a temperatura média da Terra estaria aumentando ou diminuindo.

O espectro terrestre é diferente do solar como pode ser visto na Figura 3.12. Nesse caso, o sistema Terra-atmosfera é considerado como um corpo negro a temperatura 254 K. Note-se que o comprimento de onda para o qual o fluxo emitido é máximo (Lei de Wien) é  $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$ . As duas curvas estão claramente separadas em duas bandas espectrais, uma acima e outra abaixo de  $4 \mu\text{m}$  aproximadamente; por esta razão, é costumeiro chamar a radiação recebida do Sol de *ondas curtas* (Short Wave Radiation, SWR) e a radiação emitida pelo sistema Terra-atmosfera de *ondas longas* ou radiação infravermelha (Long Wave Radiation). Esta distinção torna possível o tratamento separado desses dois tipos de radiação, reduzindo, assim, a complexidade do estudo de transferência de energia radiante.

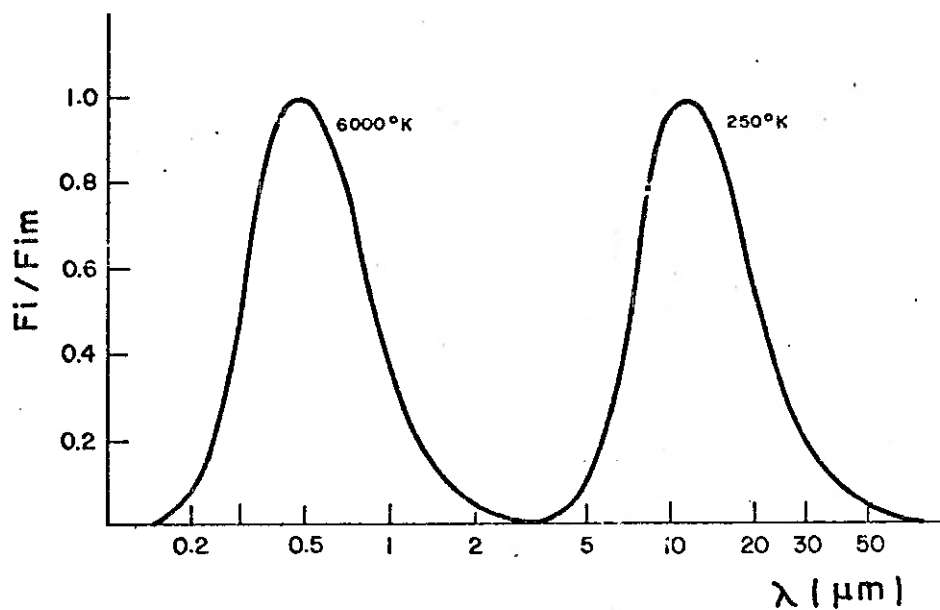


Fig. 3.12 - Distribuição relativa das densidades de fluxo de radiação solar (6000 K) e terrestre (254 K) por unidade de comprimento de onda.

### 3.5.1- ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO NA ATMOSFERA

A radiação eletromagnética ao atravessar um meio gasoso é absorvida, espalhada e refletida. Parte do espalhamento retorna para o espaço (brilho da Terra) e parte é dirigida ao chão. A quantidade e a direção do espalhamento dependem da razão entre o diâmetro das partículas presente e do comprimento de onda considerado. Se a razão é pequena, a quantidade espalhada é proporcional a  $1/\lambda^4$ . Este é o chamado espalhamento de Rayleigh. O exemplo típico é moléculas e os átomos presentes no ar espalhando radiação visível. Os comprimentos de ondas menores são espalhados mais eficientemente pelas moléculas, ou seja, o azul mais do que o amarelo e vermelho. É por isso que o céu é azul.

À medida que o diâmetro das partículas cresce, o espalhamento se torna mais e mais independente do comprimento de onda até que, para partículas suficientemente grandes comparadas com os comprimentos de onda, o espalhamento é neutro, isto é igual para todos os  $\lambda$ . Este é o chamado espalhamento de Mie. Seu exemplo típico é quando as gotas de água atingem um diâmetro muito maior que os comprimentos de ondas do visível, a luz espalhada aparece branca, como no caso de nuvens e nevoeiro ou neblina.

A absorção na atmosfera depende do gás e de sua quantidade. Não sendo verdadeiros corpos negros, os gases não absorvem igualmente em todos os comprimentos de ondas e sim apresentam espectros de absorção. A Figura 3.13 apresenta os espectros dos gases absorventes mais importantes na atmosfera. A parte inferior da figura mostra a soma das bandas de absorção, ou seja, a absorção da atmosfera.

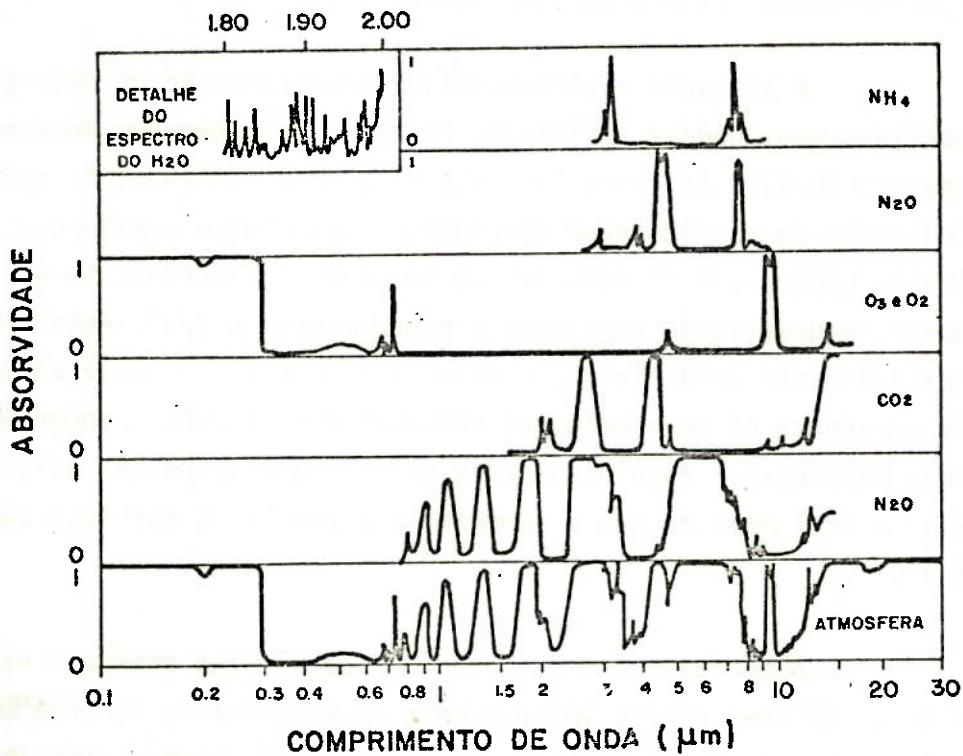


Fig. 3.13 - Absortividade da radiação solar para os gases metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

- A última tira é o efeito integrado da Atmosfera.

Existem quatro pontos importantes a serem observados:

- 1) Na região do ultravioleta (UV) ( $0.1$  a  $0.3 \mu\text{m}$ ) o ozônio é o principal absorvente, que protege a Terra dos raios UV que são letais à vida vegetal e animal.
- 2) Cerca de 45% da energia solar está concentrada entre  $0.3$  e  $0.7 \mu\text{m}$ . A atmosfera absorve muito pouco nessa banda, permitindo, portanto, que grande parte da energia solar chegue à superfície da Terra.

- 3) Aproximadamente de 8 a 12  $\mu\text{m}$ , com excessão de uma pequena banda de absorção do ozônio, centrada a 9.6  $\mu\text{m}$ , a atmosfera quase não absorve. Com foi dito anteriormente, pela Lei de Wien, o comprimento de onda, em que o fluxo de energia terrestre emitida é máximo, e  $\lambda_{\text{max}} \approx 10 \mu\text{m}$ . Essa banda é chamada "janela da atmosfera", pois por aí o sistema Terra-atmosfera perde energia para o espaço, mantendo assim o equilíbrio térmico do planeta. Essas considerações valem para a atmosfera limpa. Se nuvens ou poluentes estiverem presentes, eles tendem a absorver a radiação proveniente da superfície (nuvens especialmente podem ser considerados corpos negros na região infravermelho) e emitir proporcionalmente a sua temperatura.
- 4) Acima de 12  $\mu\text{m}$  a atmosfera é quase totalmente opaca à radiação de onda longa ou infravermelha. Em resumo, a atmosfera é muito mais transparente à radiação visível que à infravermelha. Isto faz com que o sistema Terra-atmosfera "aprisione" energia solar. Esse efeito é conhecido na literatura inglesa como efeito "greenhouse" (estufa de vidro para plantas) devido à similaridade que existe de o vidro deixar passar ondas curtas e absorver as ondas longas emitidas pelas plantas e o chão da estufa. Hoje, porém, reconhece-se que a analogia é falha, pois as altas temperaturas alcançadas na estufa são devido à cobertura de vidro impedir a convecção, ou seja, o ar aquecido não pode subir, removendo calor da estufa. Contudo, o termo efeito de estufa continua em uso.

Radiômetros a bordo de satélites utilizam-se basicamente da Lei de Stefan-Boltzmann e das bandas de absorção para determinarem temperaturas da superfície e de outras camadas da atmosfera. Por exemplo, um radiômetro, operando na banda de 10  $\mu\text{m}$ , onde a atmosfera é praticamente transparente, pode, com céu claro, medir a diferença de temperaturas entre um lago e a terra que o circunda.

Nuvens mais altas têm topo mais frio que nuvens mais baixas; radiômetros, portanto, podem ser usados para determinar tipos e altura de nuvens com uma precisão relativamente boa. Estas e outras aplicações serão tratadas em outros capítulos.

### 3.5.2 - INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM A SUPERFÍCIE TERRESTRE

A radiação solar absorvida na superfície da Terra é um dos fatores primordiais para a determinação do clima das regiões. A maneira de determinar a quantidade de radiação absorvida por uma superfície é medir a radiação que essa superfície reflete. A razão da radiação refletida pela incidente é chamada albedo da superfície. Quando se fala em albedo, em geral, refere-se a refletividade da superfície na banda de ondas curtas (0.3 a 4.0  $\mu\text{m}$ ), onde está concentrada a maior parte da energia solar. Um albedo de 0.3 (ou 30%) significa que 30% da radiação incidente é refletida pela superfície. A Tabela 3.5 apresenta valores de albedos para superfícies mais comuns. Vê-se, por exemplo, que um deserto (albedo 30%) reflete mais (portanto, absorve menos) que superfícies de água (albedo 6%) ou uma floresta (albedo ~ 15%).

$$\text{albedo, } a = \frac{\text{SWR}\uparrow}{\text{SWR}\downarrow} \quad (\text{número puro})$$

Como a atmosfera sem presença de nuvens é praticamente transparente às ondas curtas (SWR), a radiação refletida é parcialmente mandada de volta para o espaço, pois parte dessa radiação é espalhada em direção ao chão. O valor do albedo do sistema Terra-atmosfera, aceito atualmente (medido por satélite) é de 30%. Caso se aumentasse o albedo terrestre (albedo planetário), por exemplo aumentando a nebulosidade da Terra, diminuir-se-ia a quantidade de energia absorvida pela Terra e, conseqüentemente, a temperatura média do globo abaixaria, pois menos energia estaria disponível para os processos físicos que ocorrem na atmosfera. Uma consequência seria o aumento da cobertura de gelo nos oceanos e uma nova era glacial.

TABELA 3.5

ALBEDO (%) PARA A PORÇÃO DE ONDAS CURTAS DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

(Comprimentos de onda < 4.0  $\mu\text{m}$ )

|                            |    |    |    |
|----------------------------|----|----|----|
| A - Superfície de água:    | 6  | -  | 8  |
| B - Solo Desnudo:          |    |    |    |
| Dunas de areia, secas      | 35 | -  | 45 |
| Dunas de areia, molhadas   | 20 | -  | 30 |
| Solo escuro                | 5  | -  | 15 |
| Solo cinza, molhado        | 10 | -  | 20 |
| Solo argila, seco          | 20 | -  | 35 |
| Solo arenoso, seco         | 25 | -  | 45 |
| Concreto, seco             | 17 | -  | 27 |
| Estradas, asfalto          | 5  | -  | 10 |
| C - Superfícies Naturais:  |    |    |    |
| Deserto                    | 25 | -  | 30 |
| Savana, estação seca       | 25 | -  | 30 |
| Savana, estação chuvosa    | 15 | -  | 20 |
| Pastagens verdes           | 10 | -  | 20 |
| Florestas                  | 5  | -  | 15 |
| Cereais                    | 15 | -  | 25 |
| D - Céu coberto de nuvens: |    |    |    |
| Cumuliforme                | 70 | -  | 90 |
| Estratiforme               | 59 | -  | 84 |
| Altostrato                 | 39 | -  | 59 |
| Cirrostrato                | 44 | -  | 50 |
| E - Pele humana:           |    |    |    |
| Loura                      | 43 | -  | 45 |
| Morena                     |    | 35 |    |
| Negra                      | 16 | -  | 22 |

### 3.6 - EXEMPLO DE BALANÇO DE ENERGIA DO SISTEMA TERRA-ATMOSFERA

Para facilitar o estudo da energia radiante, é mais prático dividir o espectro eletromagnético em dois tipos de radiação:

- *Ondas Curtas* emitidas pelo Sol (SW) e
- *Ondas Longas* (LW) emitidas pela superfície e pela atmosfera.

Os fluxos de radiação sofrem os seguintes processos:

- 1) Absorção: - na atmosfera por: gases, vapor de água, poeira (aerossóis) e nuvens;  
- na superfície
- 2) Espalhamento na atmosfera por moléculas de gases e poeira.
- 3) Reflexão: por nuvens e pela superfície.
- 4) Transmissão através da atmosfera clara e das nuvens.

Considere-se a constante solar como sendo 1.95 ly/min (Drumond, 1970). Portanto, 1/4 da constante solar corresponde a 0.48751 ly/min  $\approx$  700 ly/dia. A radiação de ondas curtas (representada na Figura 3.14 por linhas sólidas simples), que chega ao topo da atmosfera, foi dividida em dois ramos. Um compreende a radiação incidente sobre a parte da atmosfera coberta por nuvens. De acordo com dados de satélite (Winston, 1969), a nebulosidade média da terra é 45%, logo 45% da radiação solar incide sobre nuvens. O outro ramo é o que compreende a radiação incidente sobre a atmosfera clara, isto é sem nuvens (os restantes 55%).

Define-se radiação difusa como sendo a radiação solar que chega a superfície depois de espalhada pela atmosfera e transmitida por nuvens.



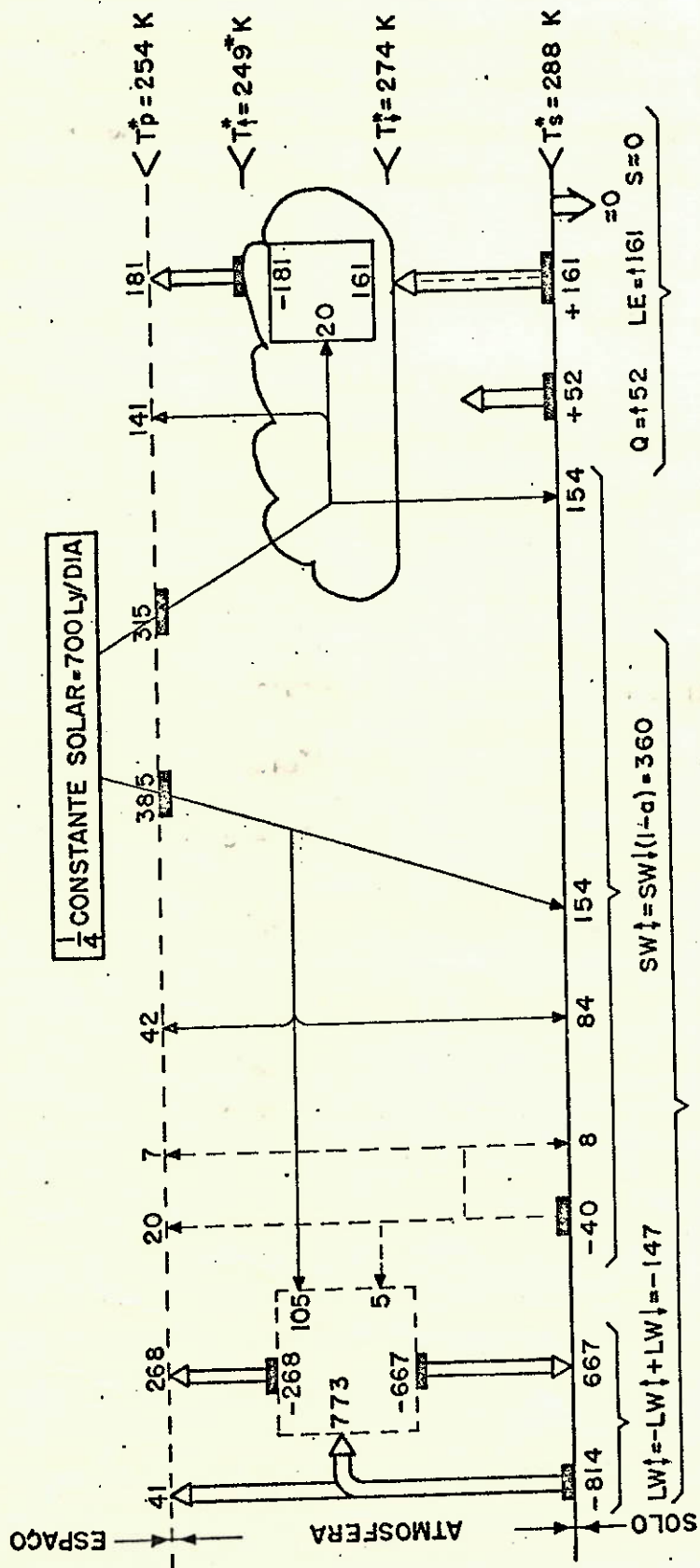


Fig. 3.14 - Balanços de energia total e parciais.

Do total de 700 unidades, 385 incidem sobre a atmosfera clara e 315 sobre a nebulosidade média. Considerando-se os processos de absorção, de reflexão, de espalhamento e de transmissão, tem-se para a atmosfera e superfície, a seguinte partição de ondas curtas:

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1) Radiação direta                       | = 154 (22%)                     |
| Radiação difusa                          | 8 + 84 + 154 = <u>246</u> (35%) |
| Radiação Global                          | 400 (57%)                       |
| Refletida pela superfície (albedo = 10%) | 40                              |
| Absorvida na superfície (AS)             | <u>360</u> (51%)                |
|  | 400                             |
| 2) Radiação absorvida:                   |                                 |
| direta                                   | { pela atmosfera 105            |
|  | { por nuvens 20                 |
| refletida absorvida                      | <u>5</u>                        |
| TOTAL ABSORVIDO (AA)                     | 130 (19%)                       |
| 3) Radiação refletida para o espaço:     |                                 |
| pela atmosfera:                          | 42 + 7 = 49                     |
| por nuvens                               | = 141                           |
| refletida pela superfície                | = <u>20</u>                     |
| TOTAL REFLETIDO (RR)                     | 210 (30%)                       |

Portanto, resumindo-se o balanço de radiação solar tem-se  $1/4$  const. solar = AS + RR + AA = 360 + 210 + 130 = 700.

Antes do estudo da radiação de onda longa (LW) e os balanços para a superfície, para a atmosfera e para o sistema Terra-atmosfera, são necessárias algumas definições:

a) Temperatura Radiacional Efetiva ou simplesmente temperatura Efetiva

É a temperatura em que um perfeito radiador (corpo negro) emitiria o mesmo fluxo de radiação que um corpo não-radiador perfeito (corpo cinza).

Da Lei de Stefan-Boltzmann, tomando-se  $\epsilon = 1,0$ :

$$T^* = (LW/\sigma)^{1/4} \quad (\text{K})$$

onde  $\sigma = (8,22 \pm 0,20) \times 10^{-11} \text{ ly min}^{-1} \text{ K}^{-4}$  e LW é o fluxo de onda longa emitido por um corpo. A temperatura efetiva é sempre menor que a temperatura real. Exemplo.

Corpo cinza:  $T = 300^{\circ}\text{K}$ ,  $\epsilon = 0.96$

$$LW = \epsilon\sigma T^4 \rightarrow LW \approx 920 \text{ ly/dia}$$

Para um corpo negro emitir esse fluxo de radiação deveria ter um temperatura efetiva  $T^* = 297 \text{ K}$ , ou seja.

$$LW = \sigma T^{*4} \rightarrow \sqrt[4]{\frac{920}{\sigma}} = T^* = 297 \text{ K}$$

No lado direito da Figura 3.14 estão representadas quatro temperaturas efetivas médias:

- temperatura planetária efetiva:  $T_p^* = 254 \text{ K}$ , corresponde ao fluxo de onda longa do sistema Terra-atmosfera,

$$LW_t = 41 + 268 + 181 = 490 \text{ ly/dia};$$

- temperatura efetiva da superfície,  $T_s^* = 288 \text{ K}$ , correspondente à emissão da superfície  $LW_{\uparrow} = 814 \text{ ly/dia}$ ;
- duas temperaturas atmosféricas efetivas:
  - . nível do topo das nuvens,  $T_{\uparrow}^* = 249 \text{ K}$ ,  $LW_{\uparrow A} = 268 + 181 = 499 \text{ ly/dia}$ .
  - . nível da bases das nuvens,  $T_{\downarrow}^* = 274 \text{ K}$ ,  $LW_{\downarrow} = 667 \text{ ly/dia}$ .

b) Radiação de onda longa efetiva ( $LW_{\downarrow}$ )

É definida como sendo a diferença dos fluxos de radiação emitida pela superfície e a emitida pela atmosfera em direção à superfície, também chamada de contrarradiação ( $LW_{\downarrow}$ ):

$$LW_{\downarrow} = LW_{\uparrow} - LW_{\uparrow A}$$

c) Razão de Ångström, A

É a razão entre o fluxo de radiação de onda longa efetiva e o fluxo de radiação de onda longa emitida pela superfície ( $LW_{\uparrow}$ ):

$$A = \frac{LW_{\downarrow}}{LW_{\uparrow}} = \frac{LW_{\uparrow} - LW_{\uparrow A}}{LW_{\uparrow}} = 1 - \frac{LW_{\uparrow A}}{LW_{\uparrow}}$$

A razão de Ångström dá a fração do fluxo de radiação de onda longa que escapa para o espaço. Note-se que  $LW_{\downarrow}/LW_{\uparrow}$  é a fração da radiação de onda longa que é retornada à superfície pela reemissão da atmosfera, portanto  $1 - LW_{\downarrow}/LW_{\uparrow}$  dá a fração perdida para o espaço. A razão de Ångström para atmosfera clara (isto é, sem nuvens) é função principalmente da quantidade de vapor de água presente na atmosfera. Climas úmidos têm razão de Ångström *menor* do que climas áridos, o que equivale a dizer que, para climas úmidos, o retorno de radiação de onda longa (contrarradiação) à superfície, é maior do que para climas áridos. Em geral, para nossas condições atmosféricas, A varia entre 0.1 e 0.2. Porém de acordo com a definição, A pode variar de 1.0

(no caso em que  $LW_{\downarrow} = 0$  - toda radiação emitida pela superfície é perdida para o espaço; exemplo: planeta sem atmosfera, lua) a zero (no caso em que  $LW_{\downarrow} = LW_{\uparrow}$  - toda radiação emitida pela superfície é retornada: é aproximadamente o caso de Vênus). Existem casos raros, especialmente em regiões extratropicais, como no caso de advecção térmica, onde  $LW_{\downarrow} > LW_{\uparrow}$ , ou seja  $A < 0$ .

Analisando-se as perdas e ganhos de radiação que a superfície sofre tem-se o seguinte quadro, para o balanço médio anual da superfície terrestre.

- Ganho

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| Radiação global (direta + difusa) | $SW_{\downarrow} = 400$                                   |
| Contrarradiação                   | $LW_{\downarrow} = 667$                                   |
|                                   | <hr/>   |
|                                   | $SW_{\downarrow} + LW_{\downarrow} = 1067 \text{ ly/dia}$ |

- Perda

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Radiação solar refletida              | $SW_{\uparrow} = -40$   |
| Radiação emitida                      | $LW_{\uparrow} = -814$  |
| Fluxo de calor latente (evaporação)   | $LE = -161$   |
| Fluxo de calor sensível (convecção)   | $Q = -52$   |
| Fluxo de calor para o chão (condução) | $S \approx 0$   |
|                                       | <hr/>   |
|                                       | $SW_{\uparrow} + LW_{\uparrow} + LE + Q + S = -1067 \text{ ly/dia}$ |

A energia total, em forma de radiação, que chega à superfície e está disponível para ser transformada em outras formas de energia como calor sensível, calor latente e condução de calor no solo, é chamada de saldo de radiação (net radiation) ou balanço radiativo da superfície:

$$R = SW_{\downarrow} - SW_{\uparrow} - LW_{\uparrow} + LW_{\downarrow} \quad (3.18)$$

Por convenção, o fluxo é positivo quando dirigido à su perfície e negativo outrossim. Mas a radiação solar refletida,  $SW_{\uparrow, p}$ , pode ser escrita  $SW_{\uparrow} = a \cdot SW_{\uparrow}$ , onde  $a$  = albedo da superfície, portanto:

$$R = SW_{\uparrow} - a SW_{\uparrow} - LW_{\uparrow} + LW_{\downarrow}$$

$$R = SW_{\uparrow} (1 - a) - LW_{\uparrow} + LW_{\downarrow}$$

ou ainda:

$$R = SW_{\uparrow} (1 - a) - ALW_{\uparrow}$$

onde  $A$  = razão de Ångström. Portanto, com  $a = 10\%$

$$R = 400 (1 - 0.1) - 814 + 667 = 213 \text{ ly/dia}$$

Outros processos não-radiativos, através dos quais a su perfície perde energia são:

- a) Calor latente de evaporação (LE): para haver evaporação de água ou solo, deve-se fornecer cerca de 600 cal por grama de água evaporada. O fluxo de energia gasto em evaporação é dado por LE, onde  $L$  = calor latente de vaporização  $\approx 600 \text{ cal/g}$  e  $E$  = quantidade evaporada, usualmente expressa em mm/mês ou mm/ano. Como a densidade de água na temperatura ambiente, é tomada igual a  $1.0 \text{ g/cm}^3$ , pode-se transformar facilmente quantidade evaporada em unidades de fluxo de radiação e vice-versa. No caso, tem-se a menos do sinal:

$$LE = 161 \frac{\text{ly}}{\text{dia}} = 161 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ dia}} = \frac{161 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{ dia}}}{600 \text{ cal/g}} = \frac{161}{600} \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \text{ dia}} = \frac{161}{600} \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \text{ dia}} =$$

$$= \frac{1 \text{ g}}{\text{cm}^3} = \frac{161}{600} \frac{\text{cm}}{\text{dia}} = \frac{161}{600} \frac{\text{cm}}{\text{dia}} \times 365.25 \frac{\text{dia}}{\text{ano}} \approx 98 \text{ cm/ano}$$

ou seja, a evaporação média da superfície da Terra (oceanos e continentes) é cerca de 100 cm por ano.

b) Calor sensível ou convecção (Q): é a energia que é transmitida para as camadas atmosféricas pelo processo de convecção. Como foi visto a atmosfera clara é praticamente transparente à radiação solar, especialmente próximo do máximo de radiação solar (entre 0.3 e 0.7  $\mu\text{m}$ ). A superfície absorve a radiação solar e aquece o ar em contato com ela: o ar aquecido se torna menos denso e sobe carregando consigo energia. O calor sensível pode ser definido como sendo proporcional ao gradiente negativo de temperatura entre a superfície e as camadas atmosféricas e é positivo quando o fluxo é dirigido da superfície para o ar. Durante o período de insolação  $\partial T/\partial Z < 0$  e  $Q > 0$  nos casos de advecção térmica ou à noite quando  $\partial T/\partial Z > 0$ , então  $Q < 0$ , ou seja o ar cede calor sensível à superfície (Figura 3.15). A média anual é um número relativamente pequeno e positivo,  $Q = 52 \text{ ly/dia}$ .

Razão de Bowen (B) - é o quociente entre o calor sensível (Q) e o calor latente de evaporação (LE):

$$B = \frac{Q}{LE}$$

Para climas úmidos, B é da ordem de 0.3, ou seja, o fluxo de calor latente (evaporação) é aproximadamente 3 vezes maior que o fluxo de calor sensível.

Para climas áridos  $LE \rightarrow 0$ , portanto  $B \rightarrow \infty$ , ou seja, climas áridos têm razão de Bowen muito grande, significando que praticamente toda a perda de energia não-radiativa é em forma de calor sensível. Para evitar essa singularidade ( $B \rightarrow \infty$ ) alguns autores preferem usar o inverso da razão de Bowen,  $1/B = LE/Q$ , assim quando  $LE \rightarrow 0$   $1/B \rightarrow 0$

- c) Fluxo de calor para o chão ou condução (S): uma pequena parte da radiação solar absorvida na superfície é conduzida pelo meio subsuperficial (solo ou água); o fluxo conduzido depende das características físicas do meio. No período diurno, em geral durante o período de insolação, o calor é conduzido para baixo, porém, à noite se inverte e o calor é conduzido em direção à superfície (Figura 3.15). Como não há evidência climatológica que a temperatura do meio subsuperficial esteja aumentando ou diminuindo, a média anual de S é considerada zero.
- d) Existem outras formas de energia na superfície, como por exemplo a energia utilizada na fotossíntese, a energia liberada com a queima de combustíveis fósseis, a energia conduzida do centro da Terra etc., mas são todas muito pequenas, quando comparadas com as acima descritas (ver, por exemplo, Tabela 3.1).

De posse de todos os termos necessário, escreve-se equação de balanço de energia da superfície, em qualquer instante (Figura 3.14).

$$R = SW_{\uparrow} (1 - a) - ALW_{\uparrow} = LE + Q + S \quad (3.19)$$

Balanço médio anual (S = 0)

$$R = SW_{\uparrow} (1 - a) - ALW_{\uparrow} = LE + Q \quad (3.20)$$

Portanto, a radiação disponível à superfície, ou seja, o saldo de radiação, deve ser compensada pelas perdas, através de processos não-radiativos, pela evaporação e pela convecção, pois não existe evidência climatológica de que a temperatura do nosso planeta esteja, em média, aumentando ou diminuindo.





DIA CLARO



NOITE CLARA

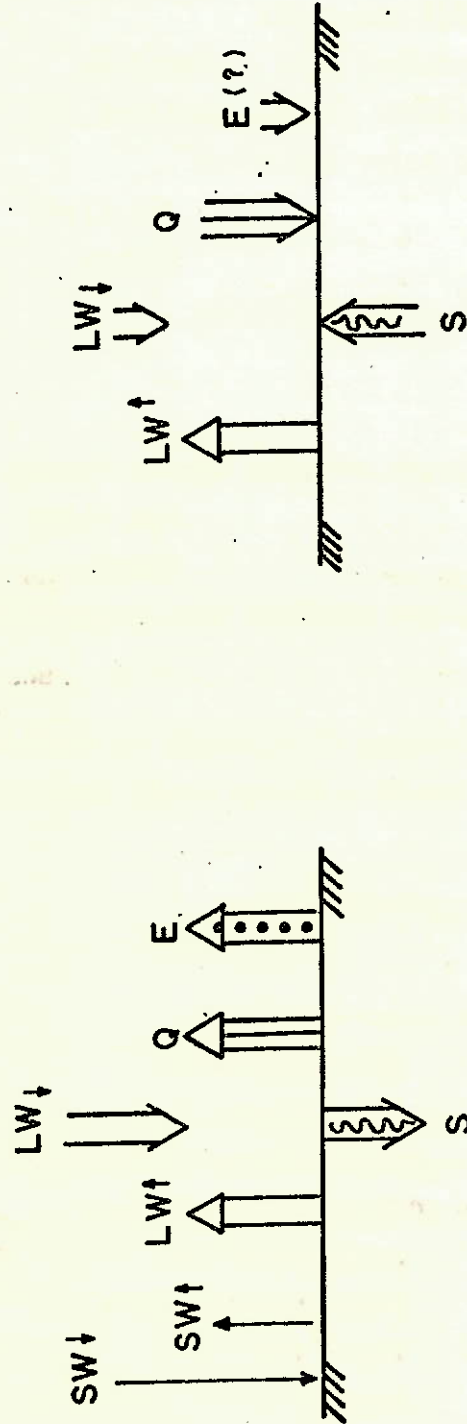


Fig. 3.15 - Direção dos Fluxos de energia na superfície, durante o dia e a noite, seguindo simbologia da Figura 3.14 e texto.

- Na figura da direita, o fluxo E pode ser negativo (dirigido para baixo), isto é, em vez de evaporação pode haver condensação (orvalho).

Analogamente, considere-se o balanço anual de energia na atmosfera; na Figura 3.14, tem-se:

|                                       |           |              |
|---------------------------------------|-----------|--------------|
| <u>- Ganho</u>                        |           |              |
| Onda longa absorvida                  |           | 773          |
| Calor sensível para a atmosfera       |           | 52           |
| Calor latente para a atmosfera        |           | 161          |
| Radiação solar absorvida:             |           |              |
|                                       | Céu Claro | 105          |
|                                       | Nuvens    | 20           |
| Radiação solar refletida              |           | <u>5</u>     |
|                                       |           | 1116 ly/dia  |
| <u>- Perda</u>                        |           |              |
| Ondas longas emitidas para o espaço:  |           |              |
|                                       | Céu Claro | - 268        |
|                                       | Nuvens    | - 181        |
| Ondas longas emitidas para superfície |           | <u>- 667</u> |
|                                       |           | -1116 ly/dia |

Juntando-se os balanços de energia para a superfície e para a atmosfera, tem-se o balanço anual para o sistema Terra-atmosfera:

|                                 |                          |              |
|---------------------------------|--------------------------|--------------|
| <u>- Ganho</u>                  |                          |              |
| 1/4 da constante solar          |                          | 700 ly/dia   |
| <u>- Perda</u>                  |                          |              |
| Radiação solar refletida        |                          |              |
|                                 | pela superfície          | 20 + 7 = 27  |
|                                 | pelas nuvens             | = 141        |
|                                 | espalhada pela atmosfera | = 42         |
| Radiação emitida (ondas longas) |                          |              |
|                                 | pela superfície          | = 41         |
|                                 | pela atmosfera           |              |
|                                 | céu claro                | = 268        |
|                                 | Nuvens                   | <u>= 181</u> |
|                                 |                          | 700 ly/dia   |

Muito embora os dados numéricos tenham sido baseados em valores medidos por satélite, combinados com médias climáticas, eles foram sistematicamente ajustados, porém dentro dos erros permissíveis tolerados, para satisfazer os balanços total e parciais.

### BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- DRUMMOND, A.J. Precision radiometry and its significance in atmospheric and space physics. In: *ADVANCES IN GEOPHYSICS*, New York, Academic, 1970. v. 14, p. 1-52.
- FLEAGLE, R.C.; BUSINGER, J.A. *An introduction to atmospheric physics*. New York, Academic, 1963.
- GOODY, R.M.; WALKER, J.C.G. *Atmosferas Planetárias*. Introdução de A. Christofolletti. São Paulo, Edgar Blucher, 1975.
- HESS, S.L. *Introduction to theoretical meteorology*. New York, Holt, 1959.
- HOLTON, J.R. *An introduction to dynamic meteorology*. New York, Academic, 1972.
- HUMPHREYS, W.J. *Physics of the air*. New York, McGraw-Hill, 1940.
- MILLER, A.; THOMPSON, J.C. *Elements of meteorology*. Ohio Merril, 1970.
- SELLERS, W.D. *Physical climatology*. Chicago, The University of Chicago Press, 1965.
- WINSTON, J.S. *Temporal and meridional variations in zonal mean heating measured by satellites and related variations in atmospheric energetics*. PhD Dissertation, New York, Dept. of Meteorology and Oceanography. New York University, 1969.

## CAPÍTULO 4

### SATÉLITES METEOROLÓGICOS: DESCRIÇÃO

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 4.1 - Generalidades .....                         | 4.1         |
| 4.2 - Satélite Polares-Tiros N .....              | 4.1         |
| 4.2.1 - Introdução .....                          | 4.1         |
| 4.2.2 - Instrumentos e Canais .....               | 4.2         |
| 4.2.3 - Sistemas de transmissão de dados .....    | 4.6         |
| 4.3 - Satélites Geoestacionários - SMS/GOES ..... | 4.9         |
| 4.3.1 - Introdução .....                          | 4.9         |
| 4.3.2 - Instrumentos de bordo .....               | 4.11        |
| 4.3.3 - Imageamento de nuvens e temperatura ..... | 4.12        |
| 4.3.4 - Produtos WEFAX/APT .....                  | 4.14        |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                  | 4.18        |

Autor: Pedro Rubens A. Carvalho

## LISTA DE FIGURAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 4.1 - Satélites de órbita polar .....                  | 4.3         |
| 4.2 - Rede mundial de satélites geoestacionários ..... | 4.10        |
| 4.3 - Sistema ótico de telescópio VAS .....            | 4.13        |

## LISTA DE TABELAS

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 4.1 - Instrumento AVHRR (TIROS-N) .....   | 4.4         |
| 4.2 - Parâmetros de transmissão APT .....   | 4.7         |
| 4.3 - Parâmetros de transmissão HRPT .....  | 4.8         |
| 4.4 - Programa de transmissões do Goes-Este efetivada em 25 de janeiro de 1980 .....                | 4.16        |
| 4.5 - Programa de transmissões do Goes-Central revisada e efetivada em 19 de novembro de 1980 ..... | 4.17        |





## CAPÍTULO 4

### SATÉLITES METEOROLÓGICOS: DESCRIÇÃO

#### 4.1 - GENERALIDADES

Os satélites meteorológicos fazem parte do grupo de satélites de sensoriamento e monitoramento do meio-ambiente. Entre estes satélites pode-se citar como principais os seguintes: NIMBUS-G, SEASAT, LANDSAT, SMS/GOES e TIROS-N. Dentre estes satélites, os meteorológicos são considerados operacionais e têm um programa de ação bastante definido (SMS/GOES E TIROS-N). A série LANDSAT faz levantamento de recursos naturais do solo e subsolo, e estará, nos próximos anos, assumindo caráter operacional. Os satélites NIMBUS-G e SEASAT têm caráter apenas experimental, sendo que o primeiro se destina a medidas de poluentes atmosféricos e oceânicos, enquanto o segundo se presta a medidas de parâmetros relacionados à dinâmica dos oceanos.

Os satélites meteorológicos por serem operacionais, tem seus serviços garantidos por satélite-reserva já em órbita, além dos de reserva em solo, prontos para serem lançados. Eles são planejados para operarem por períodos de tempo longo, sete anos, durante os quais as suas características são mantidas constantes, assim como a estação terrena de recepção dos seus sinais.

#### 4.2 - SATÉLITE POLARES-TIROS N

##### 4.2.1 - INTRODUÇÃO

Os satélites meteorológicos da série TIROS-N são de órbita polar e baixa (840 km) e coletam dados atmosféricos globais, especialmente sobre as regiões polares. Estes satélites são também chamados de heliossíncronos, por manterem constante a sua posição angular relativa ao sol. Eles são colocados em órbita circular, polar, com período em torno de 102 minutos, podendo ter passagens diurnas ascendentes ou descendentes (norte-sul/sul-norte).

A série TIROS-N está planejada para operar até 1985, quando uma nova série de satélites polares deve substituí-los. Atualmente estão operando os satélites NOAA-6 e NOAA-7, sendo que o NOAA-6 já apresenta alguns problemas de imageamento e o NOAA-7 foi recém lançado (22 de junho de 1981). Portanto, o protótipo da série já foi desativado e um outro satélite da série não atingiu a órbita de operação e foi abandonado. A vida útil destes satélites é planejada para dois anos.

A observação da Terra a partir destes satélites é feita, sobre uma mesma região, em passagens que se repetem a cada seis horas, alternadamente, pelos dois satélites operacionais do sistema. (Figura 4.1).

#### 4.2.2 - INSTRUMENTOS E CANAIS

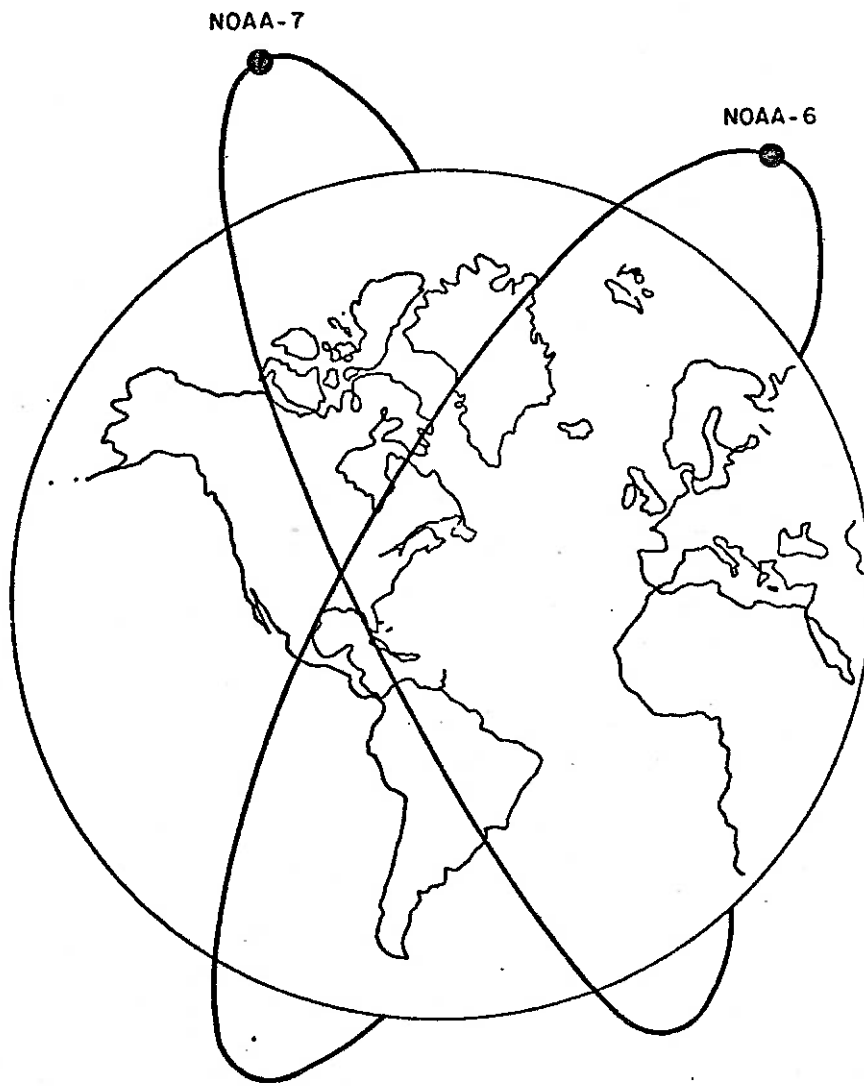
A bordo do satélite existem três instrumentos principais de sensoriamento e um de coleta de dados:

- . AVHRR - radiômetro avançado de resolução muito alta;
- . TOVS - sondador vertical operacional TIROS;
- . SEM - monitor de ambiente espacial;
- . DCS - sistema de coleta de dados.

##### AVHRR - Radiômetro avançado de resolução muito alta:

Este instrumento é constituído de quatro (ou cinco) radiômetros que fornecem os sinais analógicos de alta resolução, cada qual numa faixa de radiação. Os sinais de resolução alta são digitalizados ou quantificados e colocados à disposição do HRPT (sistema de transmissão em resolução alta) e, ao mesmo tempo, amostrados com o objetivo de reduzir a sua resolução e atingir a linearização de sua varredura; transformando-se, então, na informação APT. O APT utiliza apenas dois dos cinco canais do AVHRR, escolhidos por comando de terra.

Os dados do AVHRR podem ser gravados a bordo e transmitidos para as estações americanas de controle e comando de satélite.



ALTITUDE  $\approx$  830 Km

Fig. 4.1 - Satēlites de ūrbita polar.

A Tabela 4.1 mostra as faixas espectrais de cada canal, a resolução e o tipo de detetor utilizado. Os canais têm as seguintes aplicações típicas:

- . canais 1 e 2 - discriminação de nuvens;
  - separação terra/água;
  - extensão das coberturas de neve e gelo;
  - indicação do começo da fusão do gelo e da neve, por comparação com outros canais;
- . canais 3 e 4 - determinação da temperatura das superfícies do mar;
- . canal 4 - determinação da temperatura da superfície irradiada;
- . distribuição de nuvens de todas as passagens (diurnas e noturnas)
- . canal 5 - medição das temperaturas oceânicas, especialmente em áreas tropicais.

TABELA 4.1

INSTRUMENTO AVHRR (TIROS-N)

|                         | C.1                   | C.2              | C.3              | C.4              | C.5              |
|-------------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Largura espectral ( m ) | 0,55 - 0,9            | 0,725 - 1,0      | 3,55 - 3,93      | 10,5 - 11,5      | 11,5 - 12,5      |
| Tipo do detetor         | Silício               | Silício          | In. Sb           | Hg.Cd.Te         | Hg.Cd.Te         |
| Resolução (CVI)         | 1,3 mn<br>1,1 km      | 1,3 mn<br>1,1 km | 1,3 mn<br>1,1 km | 1,3 mn<br>1,1 km | 1,3 mn<br>1,1 km |
| Velocidade de Varredura | 360 linhas por minuto |                  |                  |                  | *vões juntos     |

### TOVS - Sondador Vertical Operacional TIROS:

O sistema TOVS é constituído de três subsistemas de sondagem, conforme relação abaixo, e objetiva o levantamento do perfil vertical de temperatura da atmosfera:

- HIRS/2: sondador de radiação infravermelha de alta resolução;
- SSU: unidade de sondagem estratosférica;
- MSU: unidade de sondagem de microondas.

As medidas básicas de cada sondador são relacionadas a seguir:

HIRS/2: perfis de temperatura desde a superfície até o nível de 1 milibar; conteúdo de vapor d'água atmosférico; conteúdo total de ozônio;

SSU: temperatura da estratosfera;

MSU: radiância na banda do oxigênio.

### DCS - Sistema de Coleta de Dados:

O sistema DCS coleta dados de plataformas fixas e móveis, localizadas em qualquer parte da terra, e grava-os a bordo para posterior transmissão à estação de comando e controle dos EUA, além de retransmiti-los localmente em tempo real. Este sistema tem algumas vantagens em relação a outros similares, devido à cobertura global do satélite, além de permitir a localização da plataforma e sua velocidade. Esta característica representa uma nova conquista tecnológica, disponível apenas nos satélites TIROS-N.

### SEM - Monitor de Ambiente Espacial:

O SEM mede o fluxo de prótons, de partículas alfa, de elétrons solares incidentes na terra, na altura da espaçonave, além da distribuição total de energia das partículas.

Essas medidas têm grande uso nas comunicações terrestres em baixas frequências, nos serviços de distribuição de energia elétrica, e na segurança dos pilotos ou astronautas nos vôos de alta altitude.

#### 4.2.3 - SISTEMAS DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Os instrumentos AVHRR e TOVS dispõem de dispositivos especiais de varredura, de forma que tanto a superfície quanto a atmosfera sejam cobertas pelos sensores do satélite, numa certa extensão transversal ao longo da linha dos pontos subsatélite.

Os sensores fornecem os sinais elétricos que vão modular as portadoras, a fim de que seja efetuada a disseminação das imagens e dos dados coletados. Existem três serviços de difusão no satélite, que são:

- APT: difusão de imagem em baixa resolução numa portadora em VHF, e modulação AM/FM em subportadora de 2,4 KHz.
- VHRR: difusão de todas as imagens e dados coletados, frequência de transmissão em banda S e modulação em fase.
- BEACON: difusão de dados em VHF e modulação de fase.

As características principais das transmissões APT e VHRR são apresentadas nas Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

TABELA 4.2

PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO APT

|  |  |
|--|--|
| Tipo de sinal transmitido                        | VHF, AM-FM<br>2,4 KHz DSB-AM<br>1,4 Hz vídeo           |
| Saídas   |  |
| Frequências                                      | 137,50 circular à direita<br>137,62 circular à direita |
| EIRP a 63º do nadir                              | 33,5 dBi, pior caso<br>37,2 dBm nominal                |
| Antena   |  |
| Ganho a 63º do nadir                             | -0,5 dBi, polarizado circular à direita                |
| Elipticidade                                     | 4,0 dB, máxima   |
| Perdas de Circuito                               | 2,4 dB   |
| Transmissor                                      |  |
| Potência   | 5,0 watts mínima                                       |
| Índice de modulação de portadora                 | $\pm 17 \pm 0,85$ KHz                                  |
| Largura de banda de pré-modulação a $\pm 0,5$ dB | 0,1 a 4,8 KHz  |
| Estabilidade em frequência                       | $\pm 2 \times 10^{-5}$                                 |
| Modulador de subportadora                        |  |
| Frequência subportadora                          | 2400 $\pm 0,3$ Hz                                      |
| Índice de modulação                              | 87 $\pm 5\%$   |
| Filtro de pós-modulação e tipo                   | 3 polos, "Butterwoorth"                                |
| Largura a 3 dB                                   | 6 KHz, mínima  |
| Filtro de pré-modulação e tipo                   | 3 polos "Butterwoorth Thompson"                        |
| Largura a 3 dB                                   | 2,4 KHz, mínima  |

TABELA 4.3

PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO HRPT

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Tipo de sinal transmitido        | Modulação em fase na banda S<br>Fase dividida<br>665,4 Kbits por segundo                         |
| Saída                            |  |
| Frequência e Polarização         | 1698,0 MHz circular ã direita<br>1707,0 MHz circular ã direita<br>1702,5 MHz circular ã esquerda |
| EIRP a 63 <sup>0</sup> do nadir  | 36,8 dbm, pior caso<br>40,4 dbm, nominal   |
| Antena                           |  |
| Ganho a 63 <sup>0</sup> do nadir | 2,1 dBi, mínimo  |
| Elipticidade                     | 4,5 db, máximo   |
| Transmissor                      |  |
| Potência                         | 5,25 watts, mínimo   |
| Índice de modulação              | 2,35 I 0,12 radianos   |
| Filtro de pré-modulação e tipo   | 5 a ordem, 0,05 fase de igual on<br>dulação  |
| Largura a 3 db                   | 2,4 MHz  |
| Estabilidade em frequência       | $2 \times 10^{-5}$   |



#### 4.3 - SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS - SMS/GOES

##### 4.3.1 - INTRODUÇÃO

Os Estados Unidos lançaram o primeiro "satélite meteorológico síncrono - SMS", para operação experimental, em 1974. Estes satélites deram origem aos "satélites geoestacionários operacionais do meio-ambiente - GOES" lançados nos anos de 1975, 1977 e 1978. A série GOES D, E e F vem substituir os satélites anteriores, com tecnologia e recursos bem superiores.

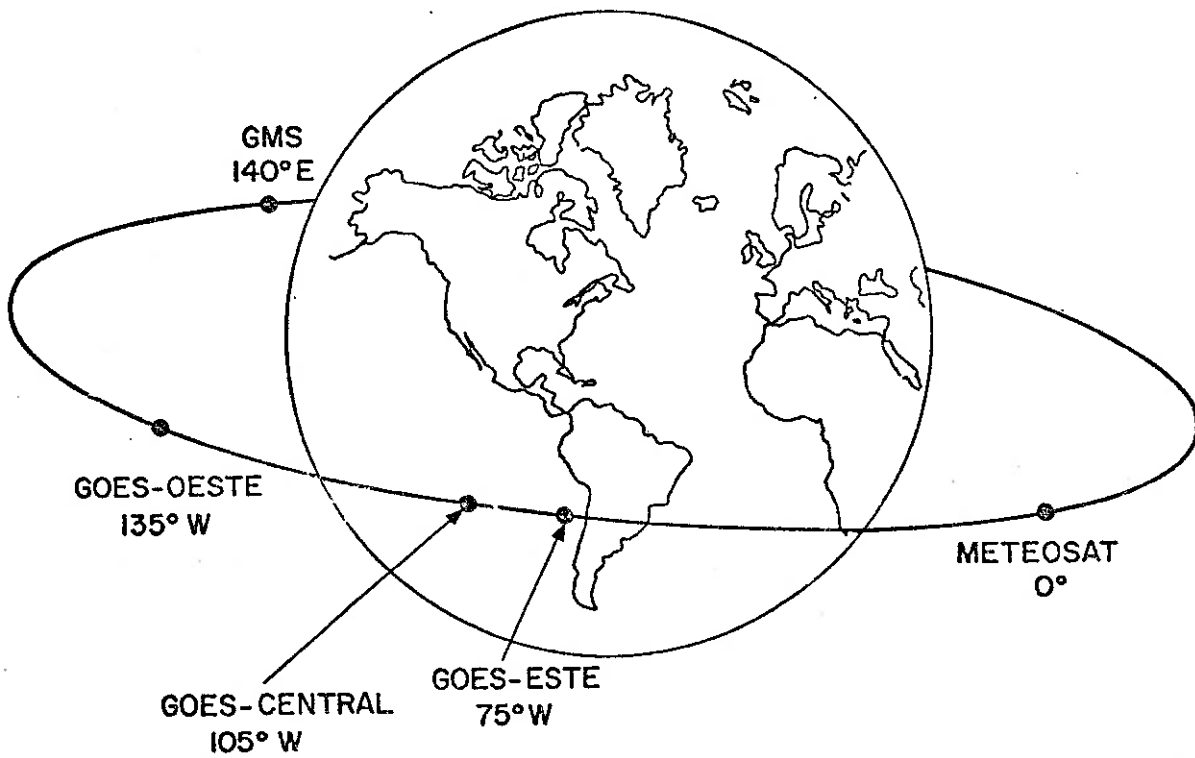
A segunda série de satélites meteorológicos geoestacionários já assumiu os serviços do GOES-Este (75ºW) e do GOES-Oeste (135ºW), enquanto as funções do GOES-Central estão sendo realizadas pelo GOES-2 (107ºW), que é ainda da primeira série dos satélites GOES.

Além dos satélites citados, fazem parte do "programa de vigilância meteorológica mundial - WWW da "Organização Meteorológica Mundial - OMM" os seguintes satélites (Figura 4.2): METEOSAT (francês) localizado a 0º de longitude e o GMS (japonês), que dão cobertura a outras partes do globo. Estes satélites têm características próprias de funcionamento.

O METEOSAT-2 foi lançado com sucesso em 19 de junho de 1981, por meio de um foguete Ariane L03 de Kourou, na Guiana Francesa. Este satélite dá boa cobertura da Europa, África e do oceano atlântico e dispõe, também, dos serviços WEFAX-Weather Fac-simile (transmissão de imagens em baixa resolução). O METEOSAT utiliza as seguintes frequências nas transmissões WEFAX:

- canal 1 - 1694.5 MHz (mais frequente)
- canal 2 - 1691.0 MHz

As transmissões WEFAX dos satélites GOES são todas realizadas na frequência de 1691 MHz.



ALTITUDE : 36.000 Km  
(sobre o plano equatorial)

Fig. 4.2 - Rede mundial de satélites geoestacionários.

Os sinais do GOES-Este, GOES-Central e METEOSAT podem ser recebidos em quase todo o território nacional, enquanto que os outros satélites geoestacionários praticamente não podem ser vistos ou recebidos no Brasil.

#### 4.3.2 - INSTRUMENTOS DE BORDO

A nova série GOES dispõe dos seguintes instrumentos e serviços de bordo:

- WEFAX: transmissão de sinais fac-símile de imagens e cartas meteorológicas (1691 MHz).
- SEM: monitor de ambiente espacial: realiza medidas de campo magnético, do fluxo de partículas energéticas e de emissões de raio X solar.
- DCS: sistema de coleta de dados: interroga, coleta e retransmite dados de uma rede de plataformas para uma estação central.
- VAS: VISSR Atmospheric Sounder: Sondador atmosférico no espectro visível e infravermelho, permitindo o cálculo dos perfis de temperatura e do conteúdo de vapor d'água.

O subsistema VAS representa uma versão mais sofisticada do tradicional VISSR (radiômetro do visível e do infravermelho de varredura por rotação) existente na série de satélites anteriores, enquanto os demais subsistemas não sofreram mudanças sensíveis. No seu modo operacional, o VAS varre a terra e obtém imagens, no visível, da luz refletida e, no infravermelho (IR), da radiação térmica, como ocorria no sistema VISSR, além de reter esta capacidade como um modo operacional independente. Entretanto, este sistema pode colher radiação IR em várias bandas espectrais, evidenciando novas potencialidades. A varredura, pode também, produzir imagens em bandas espectrais múltiplas, ao invés da banda única produzida pelo VISSR. Este novo recurso é experimental e chamado imageamento multiespectral (MSI).

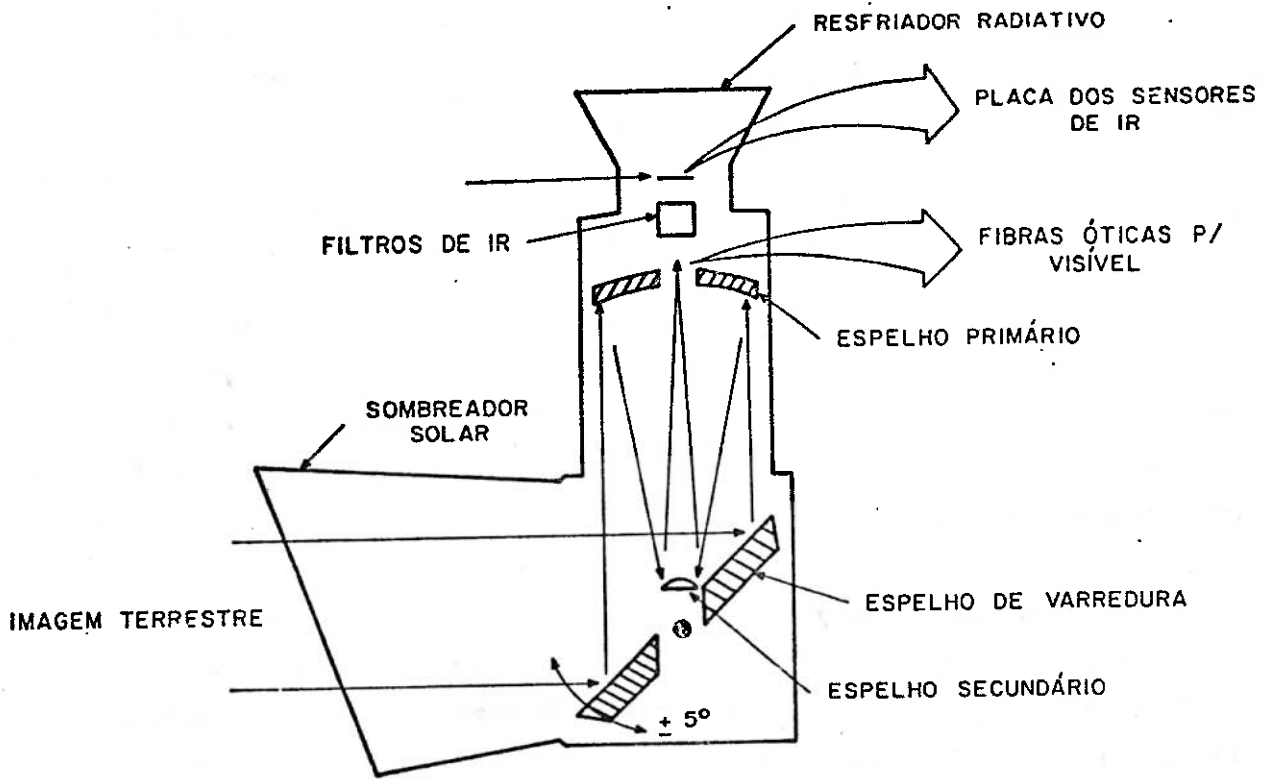
O VAS tem também uma nova capacidade experimental, a sondagem de temperatura atmosférica, pela coleta de dados de IR de radiação, os quais podem ser usados, com conhecidas propriedades atmosféricas, para calcular os perfis atmosféricos de temperatura sobre uma área geográfica selecionada.

#### 4.3.3 - IMAGEAMENTO DE NUVENS E TEMPERATURA

O imageamento das nuvens e da temperatura, nos canais VIS e IV, é feito através do sistema VAS. A radiação de uma área muito pequena, por meio do telescópio ótico de reflexão, é focalizada sobre os detetores, os quais convertem a energia da radiação em sinais elétricos. Os dados são transmitidos para terra, onde eles são corrigidos, através de um processamento eletrônico, em vários aspectos. Os detetores são arranjados no plano focal de acordo com um padrão pré-determinado, de tal modo que cada detetor define um "campo de visada" (FOV) na área focalizada. O telescópio é projetado para assegurar o inteiro imageamento da terra, de uma forma sincronizada e contínua.

A radiação entra no telescópio num ângulo de  $90^{\circ}$  em relação ao seu eixo ótico, através do espelho de varredura óticamente plano, o qual é dotado de um mecanismo de posicionamento angular por passos, que facilita a varredura da cena terrestre. (Figura 4.3). As linhas de varredura oeste-este são formadas pela rotação do próprio satélite em torno de seu eixo. As linhas são movidas na direção norte-sul pelo motor de deslocamento por passos.

Os dados do espectro visível ( $0,55 \mu\text{m}$  a  $0,75 \mu\text{m}$ ) consistem em luz solar refletida da terra e de suas várias formações de nuvens. Os dados são detetados e convertidos em sinais elétricos por um conjunto de oito válvulas fotomultiplicadoras. Cada válvula vê um oitavo da largura da linha varrida, de tal modo que oito linhas são varridas em cada rotação da espaçonave. Portanto, o canal visível está disponível apenas quando a superfície refletora esta iluminada (períodos diurnos).



PROCESSO DE VARREDURA

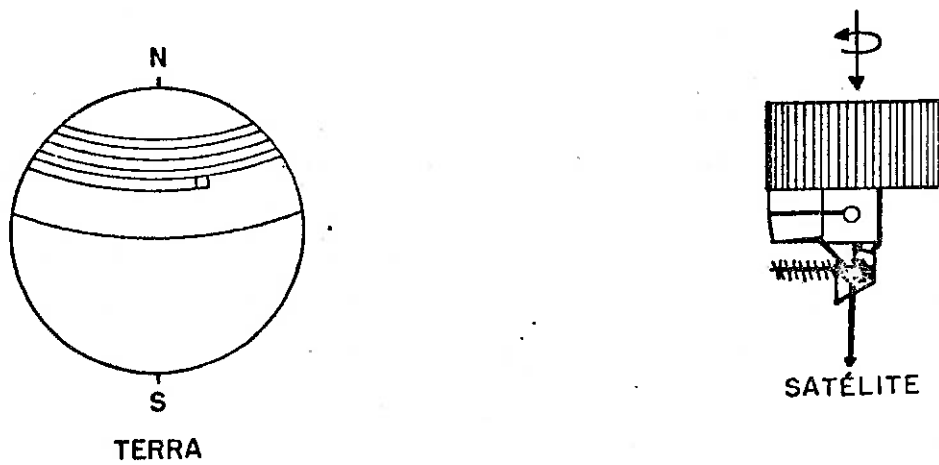


Fig. 4.3 - Sistema ótico de telescópio VAS.

Os dados do espectro infravermelho (IR) consistem da radiação emitida da terra e das nuvens e depende somente de suas temperaturas. A energia IR é, portanto, disponível tanto durante o dia quanto à noite, permitindo imageamento contínuo. As temperaturas podem ser determinadas a partir dos dados IR. Detetores de estado sólido, resfriados a 94° K por radiadores de resfriamento, convertem a energia IR em sinais elétricos.

Os modos de imageamento são determinados pela seleção do sinal detetado a ser transmitido. Esta seleção é feita pelo programador de bordo do VAS, e seu programa pode ser alterado pela estação de controle terrestre. Somente dois sinais detetados podem ser conectados simultaneamente.

#### Modo VISSR

Este modo, no qual os dados dos detetores do espectro visível são transmitidos em todas as linhas de varredura, é o operacional. As imagens resultantes são idênticas àsquelas disponíveis nos satélites GOES anteriores, e o programador de bordo fica inoperante.

#### Modo de Varredura Multiespectral

O VAS é programado para transmitir os dados do espectro visível em toda linha de varredura no modo de transmissão multiespectral. Ele é programado para transmitir sinais dos detetores IR aos pares. Pelo uso de filtros seletivos em combinação com os detetores e pelo entrelaçamento das varreduras dos detetores grandes e pequenos, pode-se imagear até três canais espectrais do IR.

#### 4.3.4 - PRODUTOS WEFAX/APT

O serviço WEFAX é prestado pelos satélites geostacionários, sendo que três deles podem ser captados em grande parte do Brasil, que são: o GOES-Central (105°E), GOES-Este (75°E) e o METEOSAT (0°).

O serviço APT é realizado pelos satélites de órbita baixa e, atualmente, pela série TIROS, representados pelos satélites, NOAA-6 e NOAA-7.

Este tipo de serviço é dirigido aos usuários que não necessitam de imagens com alta resolução e em grande quantidade, e portanto, que não têm prioridades para a montagem de grandes estações de recepção e processamento de dados e imagens meteorológicas.

No caso das estações APT/WEFAX elas são de custo relativamente baixo, de fácil manutenção e utilizam imageadores também de custo menor. A recepção WEFAX simples requer uma antena parabólica fixa (atualmente, de 3 metros de diâmetro), enquanto a do APT requer que a antena seja móvel. Em resumo, o serviço WEFAX exige uma estação menor, fornece um volume de dados maior (cartas prognósticas e imagens) e é de operação e manutenção extremamente mais simples do que a APT.

O satélite GOES-Este não transmite cartas meteorológicas e opera de forma contínua ao longo das 24 horas do dia, já o satélite GOES-Central opera em transmissões contínuas, porém concentradas em blocos, nos quais são incluídos cartas prognósticas do campo de ventos nos níveis de 200, 300 e 500 mb.

Os esquemas atuais de suas transmissões encontram-se nas Tabelas 4.4 e 4.5, para os satélites GOES-E e GOES-C. O serviço WEFAX do METEOSAT é realizado por setores e em escalas geográficas diferentes, embora haja total compatibilidade com o sinal dos satélites americanos.



TABELA 4.4

PROGRAMA DE TRANSMISSÕES DO GOES-ESTE  
EFETIVADA EM 25 DE JANEIRO DE 1980

| <u>CHART E</u> | <u>TIME (Z)</u> | <u>PRODUCT</u>                               |
|----------------|-----------------|--|
| GE01           | 0020            | NOAA-6 10E-80W POLAR DIR, 100E-10E POLAR DIR |
| GE02           | 0050            | 0001Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE03           | 0120            | 0001Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE04           | 0150            | 0001Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE05           | 0220            | 0001Z GOES-E NW/SW QUADS VIS                 |
| GE06           | 0250            | NOAA-6 10E-60W MERC DIR, 160W-130E MERC NIR  |
| GE07           | 0620            | NOAA-6 80W-170W NH/SH POLAR DIR              |
| GE08           | 0650            | 0600Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE09           | 0720            | 0600Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE10           | 0750            | 0600Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE11           | 0950            | 0900Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE12           | 1020            | 0900Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE13           | 1050            | 0900Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE14           | 1120            | OPERATIONAL MESSAGE                          |
| GE15           | 1220            | TBUS-NOAA 7                                  |
| GE16           | 1250            | 1200Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE17           | 1320            | 1200Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE18           | 1350            | 1200Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE19           | 1420            | 1200Z GOES-E NE/SE QUADS VIS                 |
| GE20           | 1450            | NOAA-6 10E-80W NH/SH POLAR NIR               |
| GE21           | 1550            | 1500Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE22           | 1620            | 1500Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE23           | 1650            | 1500Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE24           | 1720            | 1500Z GOES-E NW/SW QUADS VIS                 |
| GE25           | 1750            | TBUS-NOAA-6                                  |
| GE26           | 1820            | NOAA-6 80W-170W NH/SH POLAR NIR              |
| GE27           | 1850            | 1800Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE28           | 1920            | 1800Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE29           | 2020            | 1800Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE30           | 2050            | 1800Z GOES-E W/E TROP VIS                    |
| GE31           | 2120            | NOAA-6 40W-110W NIR, 100W-170W NIR MERC      |
| GE32           | 2150            | 2100Z GOES-E NE/SE QUADS IR                  |
| GE33           | 2220            | 2100Z GOES-E NW/SW QUADS IR                  |
| GE34           | 2250            | 2100Z GOES-E W/E TROP IR                     |
| GE35           | 2320            | NOAA-6 10E-80W NH/SH POLAR DIR               |



TABELA 4.5

PROGRAMA DE TRANSMISSÕES DO GOES-CENTRAL REVISADA E  
EFETIVADA EM 19 DE NOVEMBRO DE 1980

|      |         |                                  |
|------|---------|----------------------------------|
| GC01 | 0020GMT | N-7 10E80W PDIR, 100E-10E PDIR   |
| GC02 | 0050GMT | 0001 GMT GOES-E NE/SE QUADS IR   |
| GC03 | 0105GMT | 0001 GMT GOES-E NW/SW QUADS VIS  |
| GC04 | 0120GMT | 0001 GMT GOES-E NW/SW QUADS IR   |
| GC05 | 0135GMT | 0045 GMT GOES-W NW/SW QUADS IR   |
| GC06 | 0150GMT | 0001 GMT GOES-E W/E TROP IR      |
| GC07 | 0205GMT | 0045 GMT GOES-W NE/SE QUADS IR   |
| GC08 | 0240GMT | N-7 170W-100E NH/SH POLAR NIR    |
| GC09 | 0815GMT | N-7 100E-10E NH/SH POLAR NIR     |
|      | 0830GMT | 16 WBC CHARTS                    |
| GC10 | 0950GMT | 0900 GMT GOES-E NE/SE QUADS IR   |
|      | 1000GMT | 4 WBC CHARTS                     |
| GC11 | 1020GMT | 0900 GMT GOES-E NW/SW QUADS IR   |
| GC12 | 1035GMT | N-7 80W/170W NH/SH POLAR VIS     |
| GC13 | 1050GMT | 0900 GMT GOES-E W/E TROP IR      |
| GC14 | 1100GMT | N-7 80E-10E, 140E-70E MERC NIR   |
| GC15 | 1130GMT | OPERATIONAL MESSAGE              |
| GC16 | 1140GMT | TBUS NOAA-6                      |
| GC17 | 1150GMT | RESERVED (TEST PATTERN)          |
| GC18 | 1220GMT | TBUS NOAA-7                      |
| GC19 | 1250GMT | 1200 GMT GOES-E NE/SE QUADS IR   |
| GC20 | 1320GMT | 1200 GMT GOES-E NW/SW QUADS IR   |
| GC21 | 1335GMT | 1245 GMT GOES-W NW/SW QUADS IR   |
| GC22 | 1350GMT | 1200 GMT GOES-E W/E TROP IR      |
| GC23 | 1420GMT | 1200 GMT GOES-E NE/SE QUADS VIS  |
| GC24 | 1450GMT | N-7 10E-80W NH/SH POLAR NIR      |
| GC25 | 1835GMT | 1545 GMT GOES-W NW/SW QUADS IR   |
| GC26 | 1850GMT | 1800 GMT GOES-E NE/SE QUADS IR   |
| GC27 | 1905GMT | 1800 GMT GOES-E W/E TROP VIS     |
| GC28 | 1920GMT | 1800 GMT GOES-E NW/SW QUADS IR   |
| GC29 | 1935GMT | 1800 GMT GOES-E NE/SE QUADS VIS  |
| GC30 | 1950GMT | N-7 170W-120E MVIS 20E-50W MN IR |
| GC31 | 2005GMT | 1800 GMT GOES-E NW/SW QUADS VIS  |
| GC32 | 2020GMT | 1800 GMT GOES-E W/E TROP IR      |
|      | 2030GMT | 16 WBC CHARTS                    |
| GC33 | 2150GMT | 2100 GMT GOES-E NE/SE QUADS IR   |
|      | 2205GMT | 3 WBC CHARTS                     |
| GC34 | 2220GMT | 2100 GMT GOES-E NW/SW QUADS IR   |
|      | 2235GMT | 1 WBC CHART                      |
| GC35 | 2250GMT | 2115 GMT GOES-W NW/SW QUADS VIS  |
| GC36 | 2305GMT | 2115 GMT GOES-W NE/SE QUADS VIS  |
| GC37 | 2320GMT | N-7 10E-80W NH/SH POLAR VIS      |
| GC38 | 2335GMT | N-7 130E-60E MVIS, 70E-00W MVIS  |
| GC39 | 2350GMT | N7 40W-110W MNIR 100W-170W MNIR  |

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE. NOAA. *APT information note 81-2*.  
Washington, D.C., 1981.

———. *APT/WEFAX information note 81-w2*. Washington, D.C., 1981.

———. *Goes D, E, F data book*. Washington, D.C., 1980.

———. *Wefax information note 81-w1*. Washington, D.C., 1981.

CARVALHO, P.R.C.; RODRIGUES, V.; NOGUEIRA, J.L.M.; VIOLA, F. E. de C.;  
GARRIDO, J.C.P.de; OLIVEIRA, J.R. de; ASSAD, P.C.X. *Curso intensi-  
vo de satélites meteorológicos. Técnicas associadas utilizadas na  
produção, processamento e interpretação de imagens*. São José dos  
Campos, INPE, nov., 1979. (INPE-1614-MD/002).

## CAPÍTULO 5

### SATÉLITES METEOROLÓGICOS: IMAGEADORES E DISSEMINAÇÃO

|                                      | <u>Pág.</u> |
|--------------------------------------|-------------|
| 5.1 - Imageadores .....              | 5.1         |
| 5.1.1 - Introdução .....             | 5.1         |
| 5.1.2 - Fac-símile NEFAX .....       | 5.1         |
| 5.1.3 - Fac-símile UNIFAX .....      | 5.2         |
| 5.2 - Disseminação de produtos ..... | 5.2         |
| 5.2.1 - Introdução .....             | 5.2         |
| 5.2.2 - Redes Existentes .....       |             |
| REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....       | 5.7         |

Autor: Pedro Rubens A. de Carvalho



## CAPÍTULO 5

### SATÉLITES METEOROLÓGICOS: IMAGEADORES E DISSEMINAÇÃO

#### 5.1 - IMAGEADORES

##### 5.1.1 - INTRODUÇÃO

Os serviços WEFAX tanto quanto aqueles de mais alta resolução requerem um equipamento fundamental, qual seja, o imageador. Este equipamento é o componente individual mais caro do sistema e responsável pela qualidade final do produto.

Existem, atualmente, vários modelos de fac-símiles e imageadores, conforme registrado no trabalho "Curso Intensivo de Satélites Meteorológicos e Técnicas Associadas Utilizadas na Produção, Processamento e Interpretação das Imagens" INPE-1614-MD/002 de novembro de 1979 (Carvalho et alii, 1979). Aqui, acrescenta-se apenas comentários sobre os dois novos imageadores testados pelo INPE.

##### 5.1.2 - FAC-SÍMILE NEFAX

O fac-símile NEFAX apresenta uma característica muito importante no que diz respeito à sua manutenção, que é a de estar, sendo comercializado no Brasil e já em fase inicial de montagem e fabricação. O seu custo é a metade do custo de qualquer concorrente importado e apresenta bom desempenho para imagens e cartas oriundas de satélites meteorológicos. Este fac-símile é transreceptor, ou seja, incorpora as funções de transmissor e receptor num único equipamento; é extremamente simples de operar e de alta confiabilidade. No entanto, ele apresenta alguns inconvenientes, quais sejam imageamento descontínuo (folha a folha), emissão de um cheiro durante a queima do papel sensível, e incompatibilidade direta com o sinal do satélite.

O INPE, alterando o cristal interno que gera a taxa de rotação, conseguiu fazer com que o equipamento opere à taxa de transmissão do satélite e, assim, compatibilizar, em parte, sua diferença para com os sinais WEFAX. Infelizmente, a imagem se apresenta invertida, as nuvens estão saindo escuras e o fundo escuro das imagens, claros. No entanto, a fábrica do equipamento já estuda a solução deste problema.

Esse fac-símile, no entanto, tem dado bons resultados em transmissões de fotos de satélites, de aparelho a aparelho, em chamadas DDD de longa distância.

### 5.1.3 - FAC-SÍMILE UNIFAX

O UNIFAX é um fac-símile fabricado pela United Press International em sua versão satélite. Ele apresenta todas condições desejadas para uma operação contínua, sem necessidade de operadores, além de apresentar um baixo custo de seus produtos de consumo.

O equipamento é de fabricação americana e requer um treinamento do pessoal para sua manutenção; porém, é confiável e robusto. O custo (em agosto, 1981) de um equipamento deste tipo estava em torno de US\$ 15,000.00.

## 5.2 - DISSEMINAÇÃO DE PRODUTOS

### 5.2.1 - INTRODUÇÃO

O INPE tem procurado colocar os produtos dos satélites meteorológicos à disposição da comunidade meteorológica nacional e, também, da América do Sul. Neste sentido, foi criada a rede de estações APT, que abrange desde o projeto, compra e empréstimos das estações até o suporte técnico para a sua manutenção, além da confecção de grades e folhas de rastreio.

O desdobramento natural desta atividade levou o INPE a desenvolver a estação de recepção WEFAX, inclusive, compatibilizando-a com a atual estação APT, através da adaptação de um conversor UHF/VHF, no qual a recepção utiliza um canal do receptor da estação.

A estação WEFAX fornece um volume de imagens muito superior do que a estação APT tradicional, além de requerer um nível mínimo de operação e manutenção.

O esforço de disseminação fez com que se criasse o serviço de transmissão de sinais WEFAX, em tempo real, para diversos usuários, o qual apresenta, também, a possibilidade de se expandir para vários usuários. Paralelamente a este serviço, criou-se um outro para usuários que necessitem de um volume de imagens ainda menor, serviço de disseminação de imagem via NEFAX. Neste caso, basta o usuário dispor de uma máquina, discar o DDD para o INPE e receber a imagem desejada em questão de minutos.

#### 5.2.2 - REDES EXISTENTES

Os serviços prestados pelo INPE à comunidade meteorológica encontra-se resumido na Tabela 5.1, onde aparecem as instituições beneficiadas e o serviço a elas prestado; a seguir, apresentam-se dois mapas, nos quais se visualizam as redes e estações implantadas no Brasil (Figuras 5.1 e 5.2).

TABELA 5.1

RESUMO DOS USUÁRIOS E SERVIÇOS DE DISSEMINAÇÃO

| USUÁRIO           | WEFAX<br>(via linha te-<br>lefônica) | NEFAX | CORREIO | OPERACIONAL<br>EXPERIMENTAL | Nº IMAGENS/<br>DIA |
|-------------------|--------------------------------------|-------|---------|-----------------------------|--------------------|
| M.Aer. - CINDACTA | SIM                                  | -     | -       | OPER.                       | CONTÍNUA           |
| CESP              | SIM                                  | -     | -       | OPER.                       | CONTÍNUA           |
| M.Aer. - IAE      | SIM                                  | -     | SIM     | OPER.                       | CONTÍNUA/4         |
| CETESB            | -                                    | -     | SIM     | OPER.                       | 4                  |
| TV CULTURA/TELESP | -                                    | SIM   | -       | OPER.                       | 4                  |
| IAG/USP           | -                                    | -     | SIM     | OPER.                       | 1                  |
| U.F.Pb.           | -                                    | SIM   | -       | EXP.                        | -                  |
| JORNAL DO BRASIL  | -                                    | -     | SIM     | OPER.                       | 1                  |
| O ESTADO S. PAULO | -                                    | -     | SIM     | OPER.                       | 1                  |



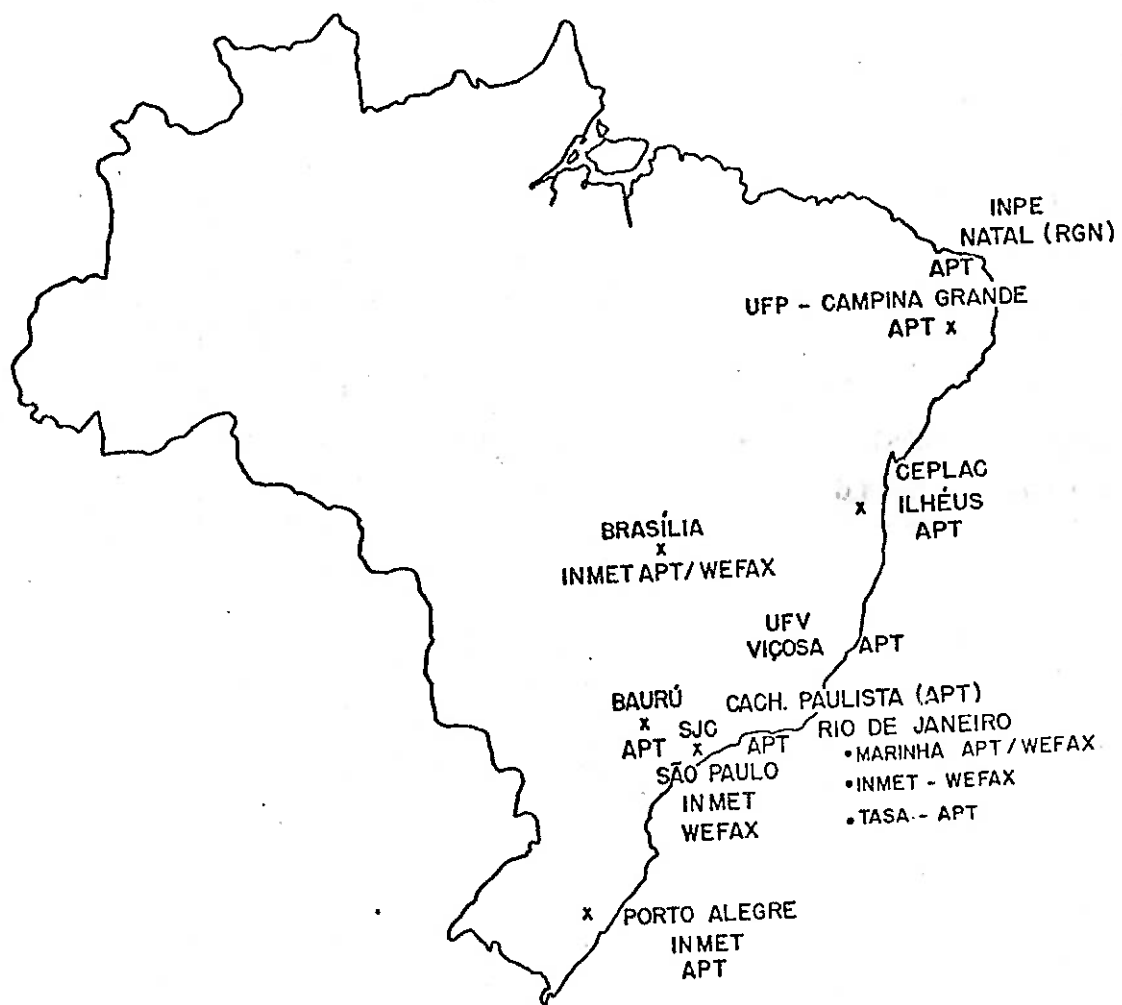


Fig. 5.1 - Rede de estações de recepção direta APT/WEFAX.

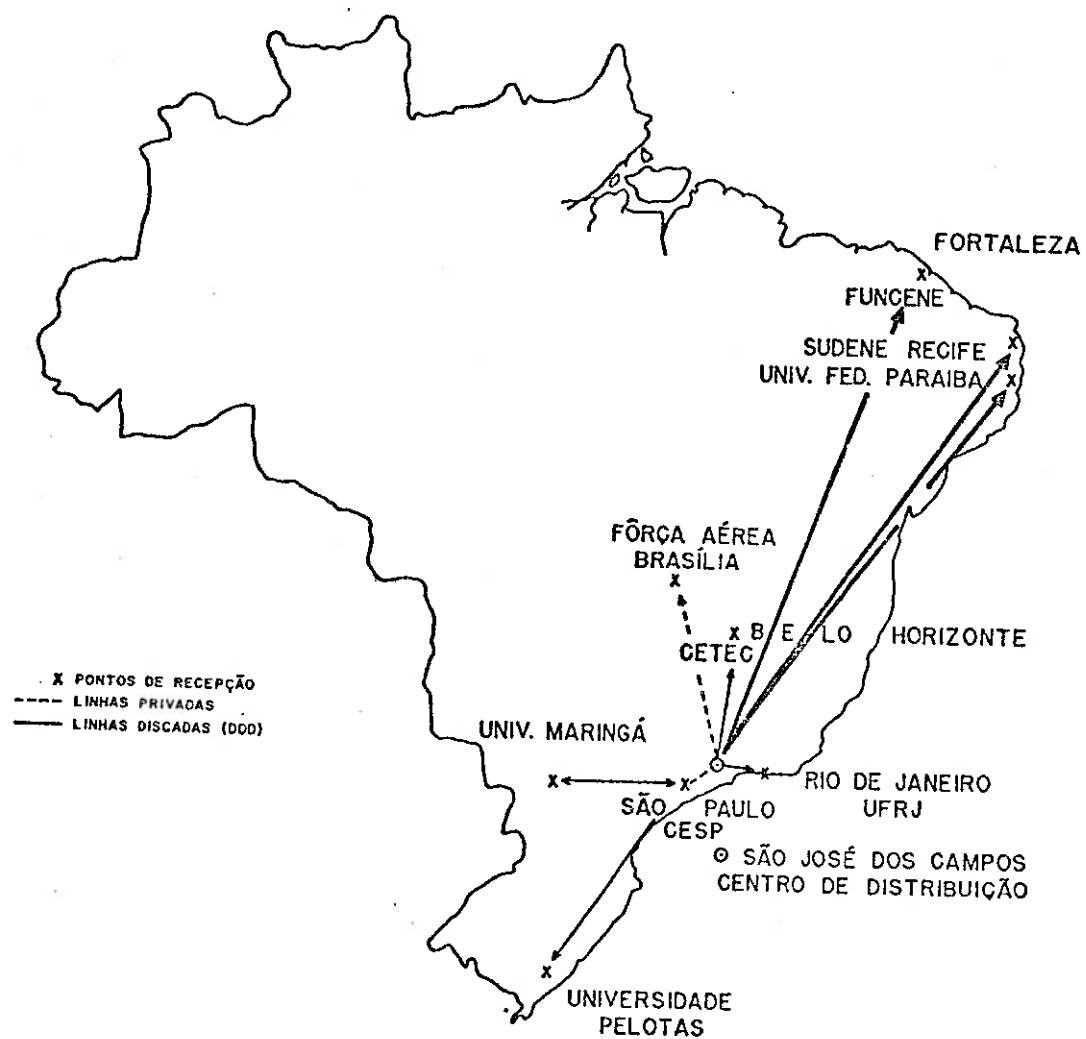


Fig. 5.2 - Rede receptora de sinais WEFAX/NEFAX.

(Via linha telefônica privada ou discada)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, P.R.C.; RODRIGUES, V.; NOGUEIRA, J.L.M.; VIOLA, F.E. de C.; GARRIDO, J.C.P. de; OLIVEIRA, J.R. de; ASSAD, P.C.X. *Curso intensivo de Satélites Meteorológicos. Técnicas associadas utilizadas na produção, processamento e interpretação de imagens.* São José dos Campos, INPE, nov. 1979. (INPE-1614-MD/002).



## CAPÍTULO 6

### PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 6.1 - Introdução .....   | 6.1         |
| 6.2 - Descrição do sistema de coleta de dados por satélites ..             | 6.3         |
| 6.3 - Sistema ARGOS .....  | 6.5         |
| 6.3.1 - Equipamento ARGOS .....  | 6.7         |
| 6.4 - Centros de recepção, processamento e disseminação de da<br>dos ..... | 6.9         |
| 6.5 - Sistema SMS/GOES .....   | 6.10        |

Autor: Eduardo M. B. Alonso

## LISTA DE FIGURAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 6.1 - Sistema mundial de observações por satélites meteorológicos, em órbita geossíncrona e heliossíncrona ..... | 6.2         |
| 6.2 - Sistema de coleta de dados por satélite .....  | 6.4         |
| 6.3 - Sistema ARGOS .....  | 6.6         |
| 6.4 - Geometria da visibilidade comum .....  | 6.8         |
| 6.5 - Centro de recepção, processamento e disseminação de dados .....  | 6.9         |
| 6.6 - Sistema PCD/ARGOS/INPE .....   | 6.10        |

## CAPÍTULO 6

### PLATAFORMA DE COLETA DE DADOS

#### 6.1 - INTRODUÇÃO

Os satélites apresentam uma potencialidade sem par, no que diz respeito à obtenção de informações sobre o meio ambiente. Esta potencialidade vem sendo aproveitada pelos satélites meteorológicos, que operam com as chamadas Plataformas de Coleta de Dados (PCD). Estas plataformas têm diversas aplicações para o monitoramento de fenômenos ambientais, tais como:

- Monitoramento dos oceanos Atlântico e Pacífico, através de plataformas situadas em navios ou boias.
- Sensoriamento climatológicos.
- Sensoriamento hidrológico.
- Sensoriamento agrícola.
- Sensoriamento sísmico.

No Brasil, optou-se pelo uso de dois sistemas de plataformas: o sistema Argos, que opera com o satélite de órbita polar da série Tiros-N, e o sistema SMS/GOES, que opera com os satélites geostacionários da série SMS (Figura 6.1).

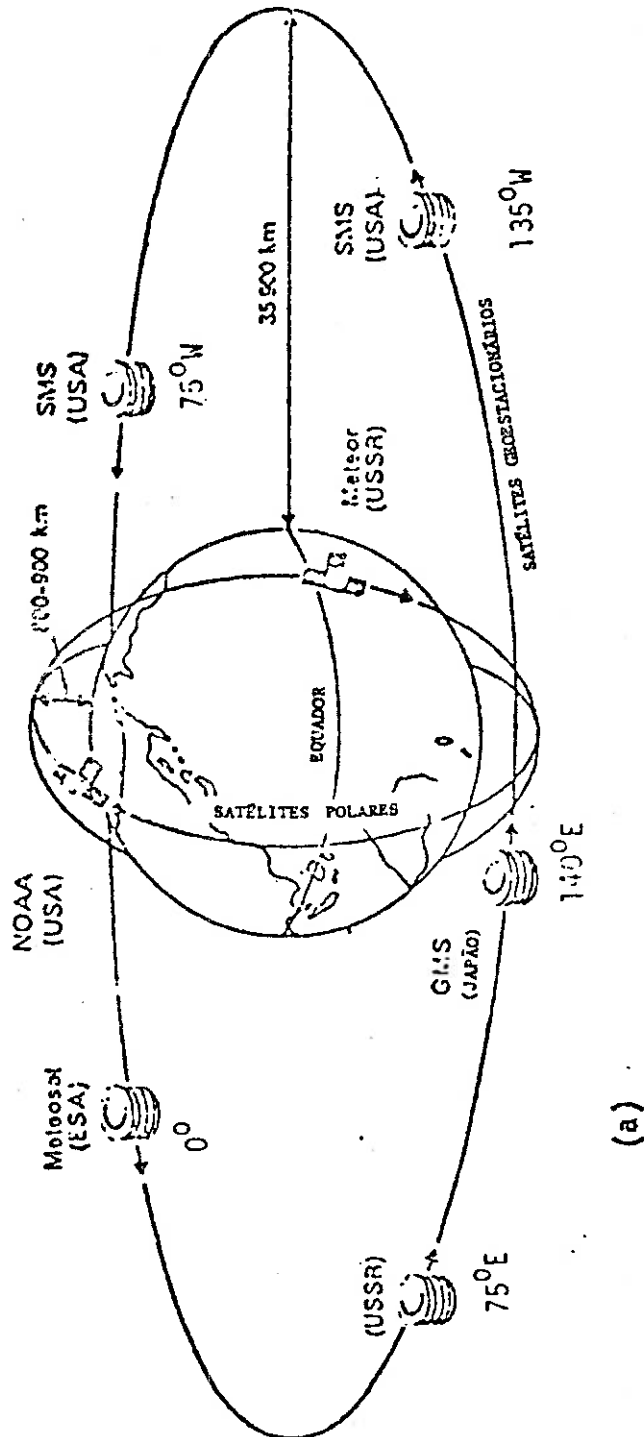


Fig. 6.1 - Sistema mundial de observações por satélites meteorológicos, em órbita geosíncrona e heliosíncrona.



## 6.2 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE DADOS POR SATÉLITES

Basicamente o sistema de coleta de dados por satélites, mostrado na Figura 6.2, consiste em:

### - Plataformas de coleta de dados

Sistema para coletar dados ambientais e transmiti-los pa  
ra o satélite.

### - Estação de usuários

Recebe os dados transmitidos pelas PCDs, processa-os e distribui para os diversos usuários.

### - Estação de Comando e Aquisição de Dados (CAD)

Envia um comando para as plataformas que estiverem equi  
padas com receptor, autorizando uma transmissão; estas plataformas são denominadas interrogáveis. Esta estação também recebe os dados transmi  
tidos pelas plataformas.

### - Satélite

Recebe os dados transmitidos pelas PCDs e os retransmite para a terra.

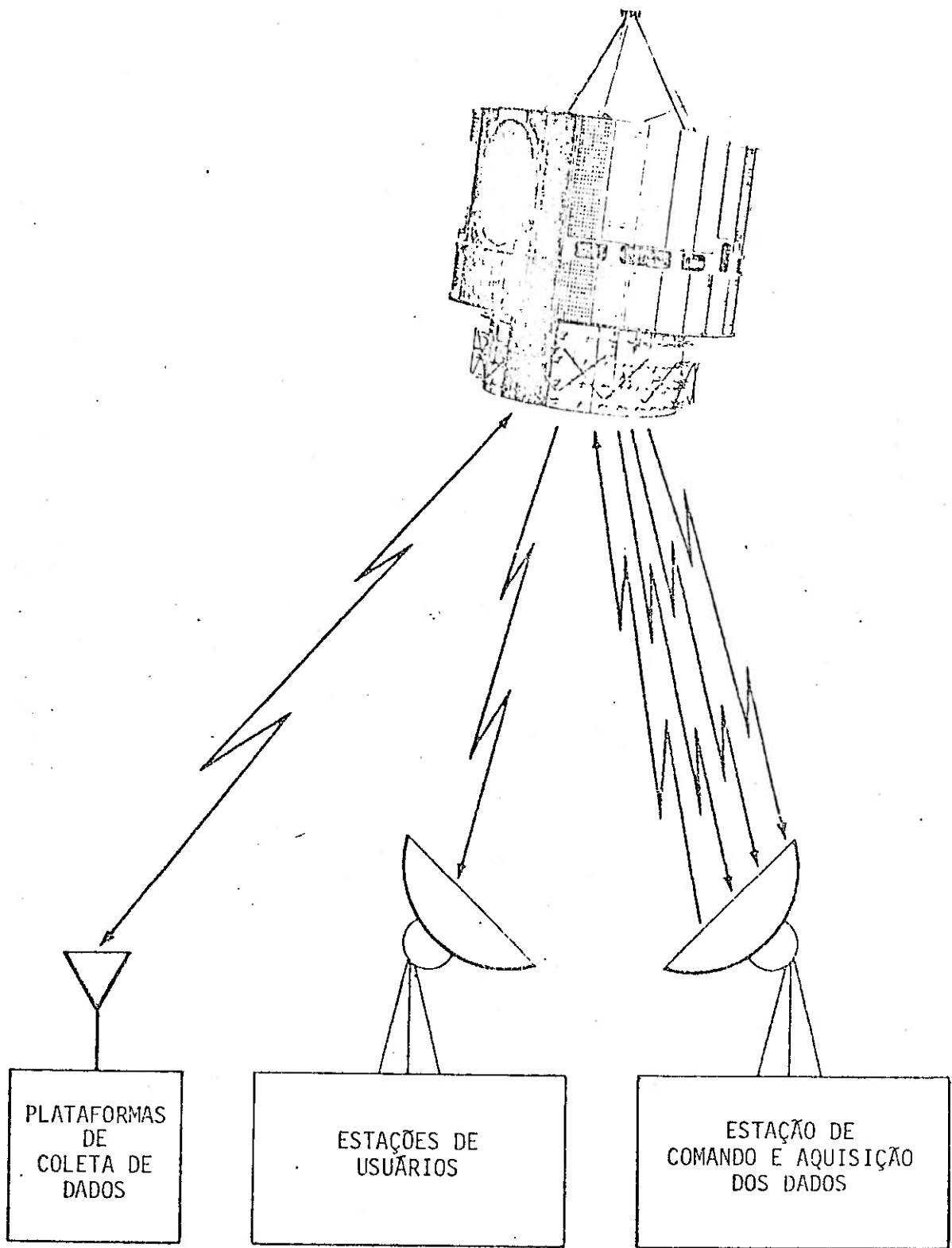


Fig. 6.2 - Sistema de coleta de dados por satélite.

### 6.3 - SISTEMA ARGOS

O sistema Argos, mostrado na Figura 6.3, projetado e implantado pelo CNES (Centre National d'Estudes Spatiales) em colaboração com a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), admite a utilização de plataformas fixas ou móveis (balões, boias, navios, etc.), uma vez que permite a localização das mesmas. As PCDs devem transmitir sistematicamente, independente da interrogação pelo satêlite. Podem estar equipadas com diferentes sensores, em grupos múltiplos de 4, variando entre 4 e 32.

Os sinais transmitidos pelas PCDs são modulados em fase (PCM/PSK), na frequência de 401, 650 MHz, por um período que, dependendo do número de sensores, varia de 360 a 920 milissegundos, em intervalos regulares de 40 a 60 segundos (plataformas móveis) ou de 60 a 200 segundos (plataformas fixas).

A mensagem é transmitida a uma taxa de  $400 \pm 5$  bits por segundo, contendo: palavra de sincronismo, palavra de identificação da plataforma, número de grupos de sensores e dados coletados pelos sensores.

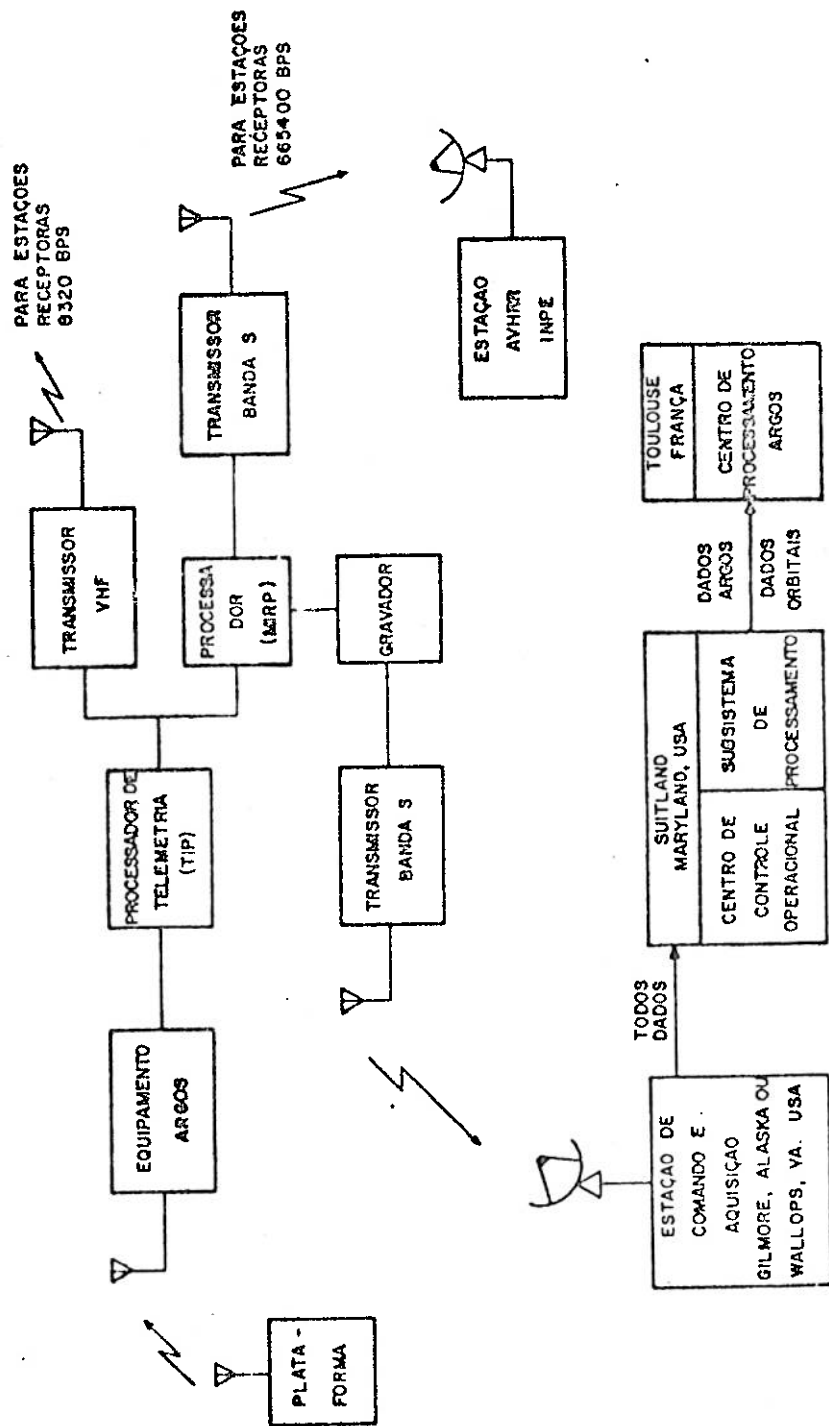


Fig. 6.3 - Sistema ARGOS.

### 6.3.1 - EQUIPAMENTO ARGOS

O equipamento Argos está instalado a bordo dos satélites Tíros-N. Estes satélites operam em pares, para que haja passagem sobre uma determinada PCD, a cada 6 horas.

A mensagem enviada pela PCD é armazenada no satélite e, em seguida, retransmitida em VHF (136,770 e 137,770 MHz) e na banda S (1698,00 e 1707,00 MHz), de forma que podem ser captada por um usuário que disponha de uma estação receptora apropriada, desde que esta estação esteja no campo visual do satélite no instante da retransmissão (Figura 6.4). Esta mensagem também é retransmitida para o centro de recepção Argos; o sistema tem capacidade para operar com até 16.000 plataformas fixas ou 4.000 localizáveis.

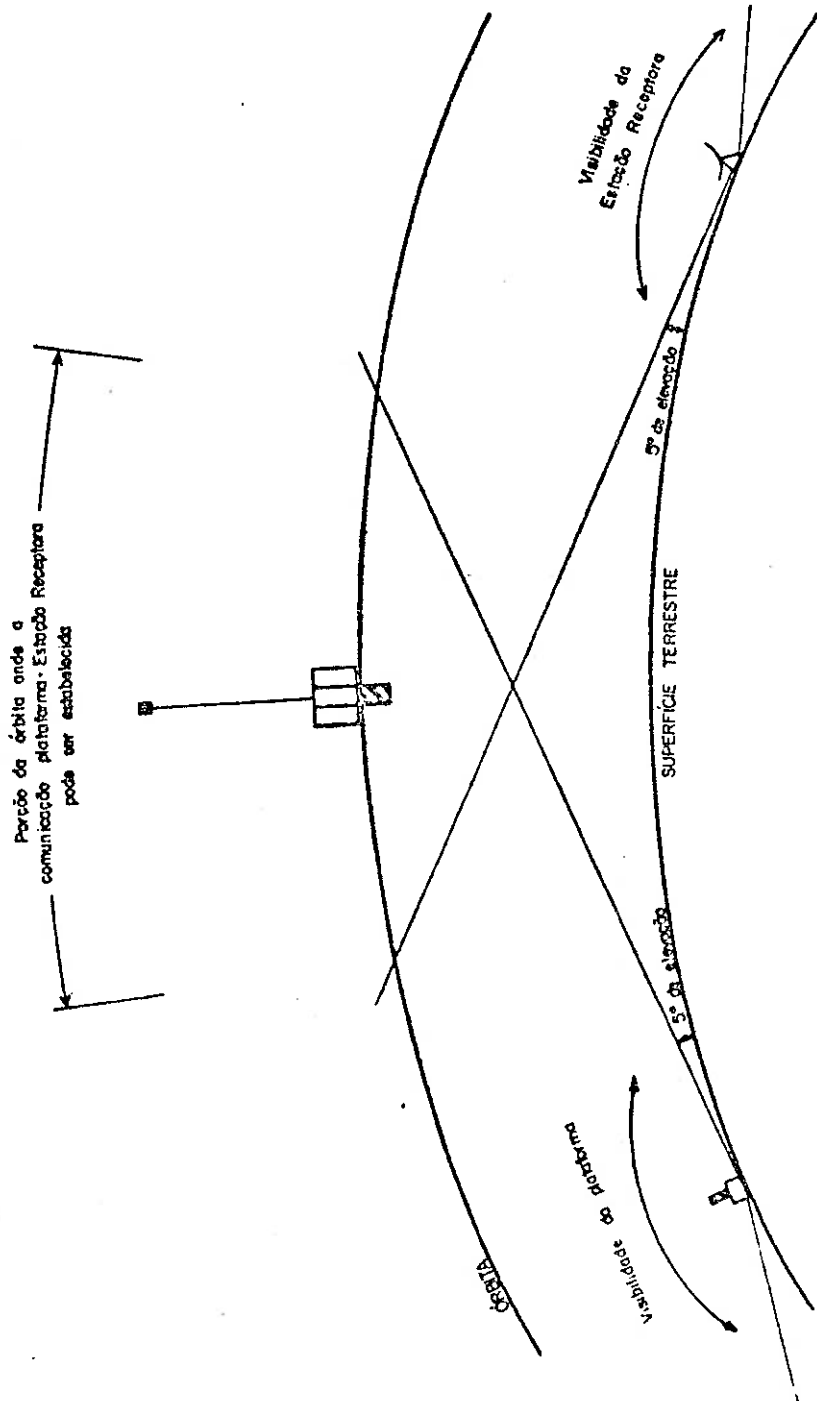


Fig. 6.4 - Geometria da visibilidade comum.

#### 6.4 - CENTROS DE RECEPÇÃO, PROCESSAMENTO E DISSEMINAÇÃO DE DADOS

A cada passagem de um satélite pela estação receptora de terra (CAD) corresponde a um envio da mensagem completa de dados.

Nesta estação os dados Argos são separados e transmitidos para o centro de processamento Argos. Após recebidos e decodificados, os dados são enviados aos usuários por meio de linhas dedicadas, telex, etc. (Figura 6.5).

Quando o usuário dispõe de sua própria estação receptora (caso do INPE, Figura 6.6), a recepção é feita em tempo real, evitando-se algumas das etapas acima descritas.

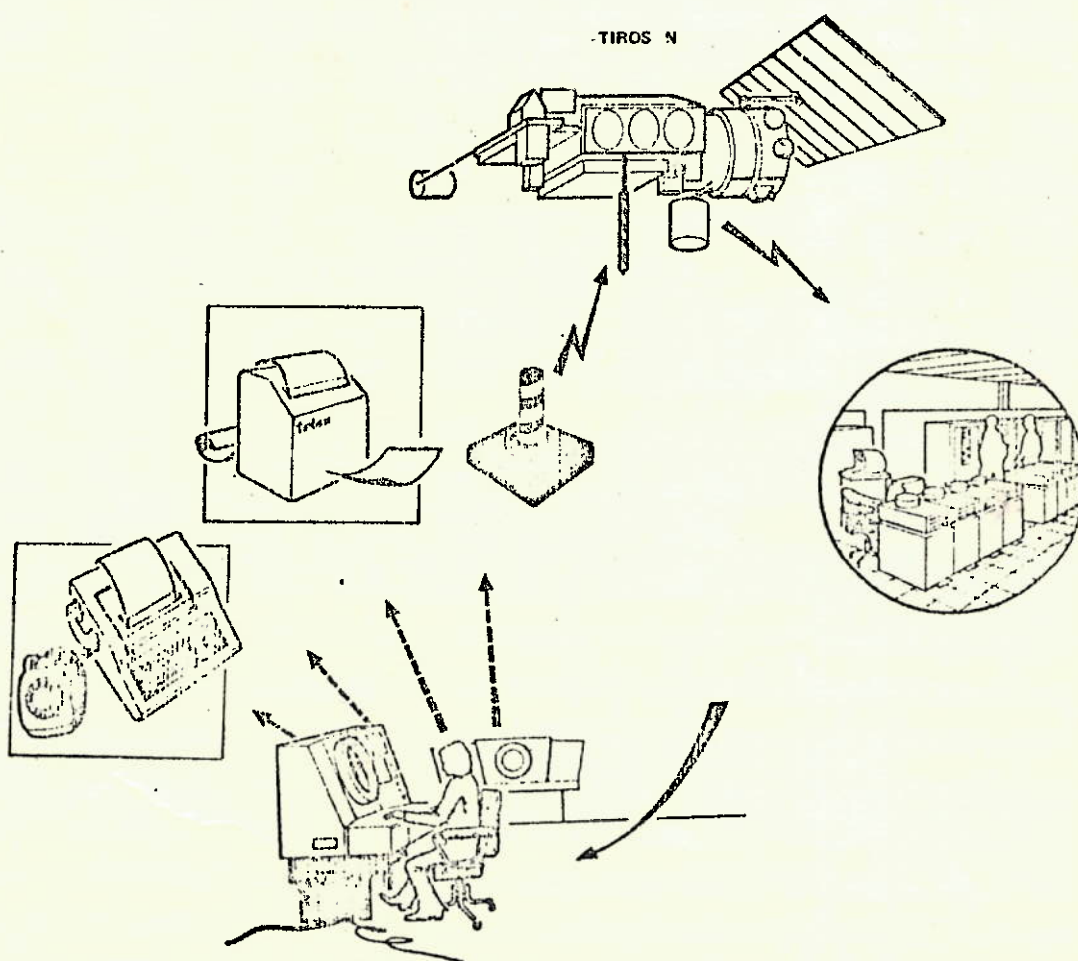


Fig. 6.5 - Centro de recepção, processamento e disseminação de dados.

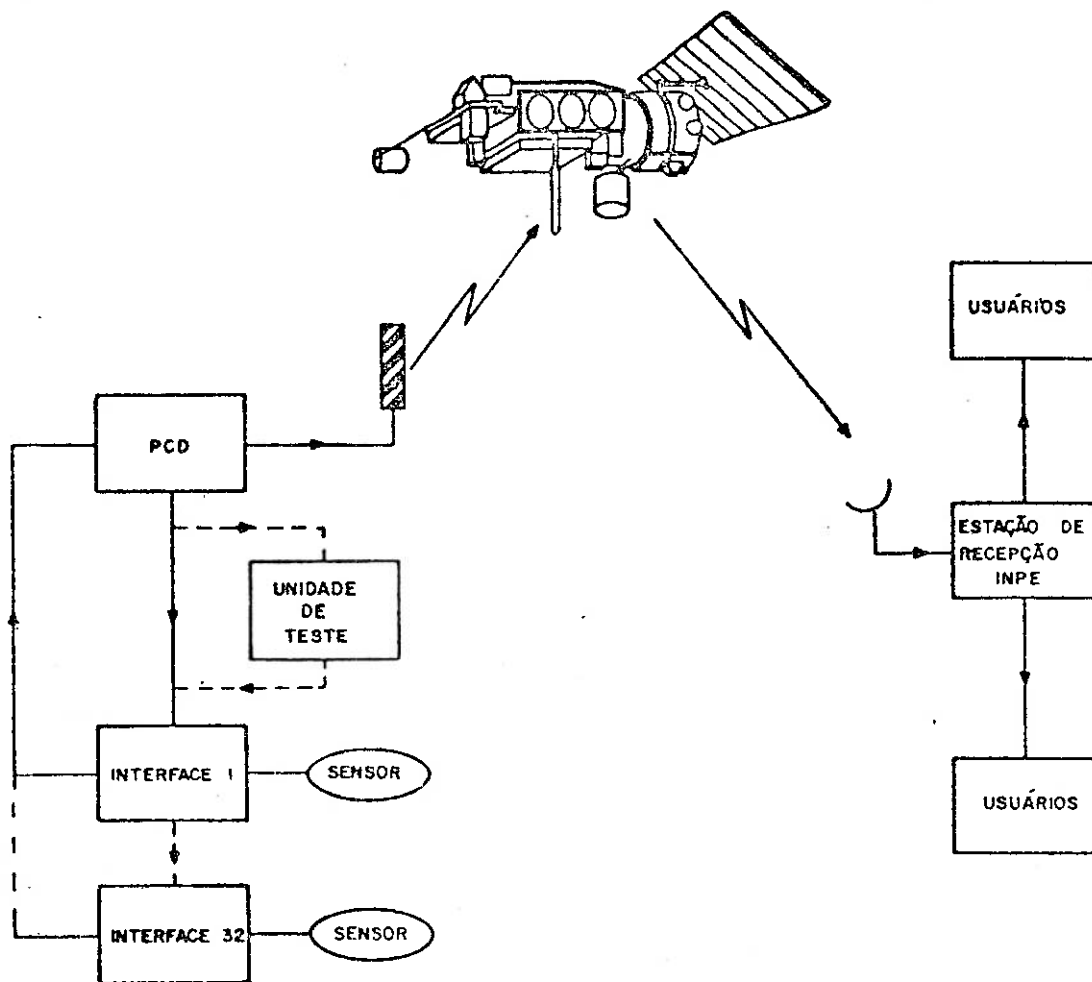


Fig. 6.6 - Sistema PCD/ARGOS/INPE.

### 6.5 - SISTEMA SMS/GOES

O sistema SMS/GOES opera com 2 satélites geostacionários, nas posições  $75^{\circ}W$  e  $135^{\circ}W$ , na linha do equador. Este sistema tem a capacidade de contactar até 10.000 plataformas para cada satélite, a cada 6 horas.

As PCDs transmitem a mensagem a uma taxa de 100 bits por segundo, com uma frequência aproximada de 402 MHz. O tamanho da mensagem varia de 50 a 3.000 bits, dependendo da quantidade de dados a serem transmitidos.



As plataformas para este sistema podem ser de três tipos:

- Interrogáveis

Plataformas que podem ser interrogadas pelo satélite e comandadas para enviarem os dados armazenados.

- Autotemporizadas

Plataformas que transmitem em tempos prèdeterminados.

- De emergência

São aquelas que transmitem a informação, sempre que al gum de seus parâmetros sensoreados ultrapasse uma condição crítica.

Tanto as interrogáveis como as autotemporizadas podem operar como plataforma de emergência. As interrogáveis transmitem so mente sua identificação para o satélite, em uma frequência designada para emergência. A estação central, localizada nos E.U.A., envia um si nal para que esta plataforma faça uma transmissão. As autotemporizadas transmitem seus dados para o satélite, em sua frequência de reportagem de emergência.



## CAPÍTULO 7

### ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS EM TEMPO REAL - SISTEMAS UAI

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 7.1 - Introdução .....                      | 7.1         |
| 7.2 - Descrição do Sistema UAI-1 .....      | 7.1         |
| 7.3 - Descrição do sistema UAI-REMOTO ..... | 7.8         |

Autor: Paolo Pio Camilli

## LISTA DE FIGURAS

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 7.1 - Diagrama de blocos do UAI-1 .....                 | 7.4         |
| 7.2 - Etapa de entrada na unidade de controle UAI ..... | 7.5         |
| 7.3 - Etapa de saída na unidade de controle UAI .....   | 7.6         |
| 7.4 - Uma configuração para a difusão de imagens .....  | 7.10        |
| 7.5 - Configurações para a unidade mestre .....         | 7.11        |
| 7.6 - Configuração para a unidade remota .....          | 7.13        |

## CAPÍTULO 7

### ARMAZENAMENTO E ANÁLISE DE IMAGENS EM TEMPO REAL - SISTEMAS UAI

#### 7.1 - INTRODUÇÃO

Os sistemas UAI (Unidade de Armazenamento e Análise de Imagens) são unidades que adquirem dados, tipo imagem, e os armazenam em Bancos de Memória, permitindo a visualização dos dados no formato de TV, em tempo real, e o seu processamento em alta velocidade.

A primeira versão do sistema UAI (UAI-I) já foi desenvolvida e encontra-se em operação no INPE desde junho 1980. Atualmente uma segunda versão está em desenvolvimento (UAI-II). Esta nova versão além de poder funcionar de modo autônomo, como no caso do UAI-I, poderá operar normalmente acoplada a um minicomputador (com unidades de fita e disco), permitindo armazenamento de maior quantidade de imagens. A memória contida nas unidades do tipo UAI é considerada como área de trabalho e não como arquivo. Esses sistemas dizem respeito aos usuários que demandam capacidade para processamento ou análise de imagens.

#### 7.2 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA UAI-I

O UAI-I pode ser separado, em relação ao Banco de Imagens, em:

- a) Procedimentos de Entrada ou Síntese da Imagem.
- b) Procedimentos de Saída ou Análise da Imagem.

##### a) Procedimento para Síntese da Imagem ou Aquisição

O usuário escolhe o setor da imagem que deseja adquirir, a posição e o tamanho. A posição é dada em coordenadas de "pixel" e número de linha de varredura, de acordo com um Mapa de Coordenadas exis

tente. O tamanho varia desde *disco completo* (área máxima) até áreas mínimas possíveis para os espectros visível e o infravermelho, que correspondem ao máximo detalhe.

Para cada procedimento de gravação, só é possível registrar imagens de um só espectro, visível ou infravermelho, mas não ambas simultaneamente.

O setor de imagem selecionado será adquirido pelo UAI-I, automaticamente, no momento de sua recepção pela estação.

Embora o satélite SMS seja geoestacionário, ocorre uma pequena mudança em sua posição orbital, com periodicidade diária. Isto provoca um deslocamento da ordem de 10 "pixels" a cada 2 horas, aproximadamente, nas imagens de máxima resolução (menor área).

O minicomputador PDP 11/10, mediante utilização do programa de navegação, fornece, pelo teletipo, informações que possibilitam ao usuário corrigir, através do UAI-I, esses deslocamentos do Satélite, antes de proceder à gravação. Tais correções são importantes quando se deseja proceder à animação de imagens; para isto, é necessária a melhor superposição geográfica possível das imagens componentes.

O "pixel" de vídeo ("byte") do espectro infravermelho é composto de 9 bits. O bit de grade é misturado com a informação de vídeo e, portanto, sua gravação em separado não é necessária, com exceção de casos específicos.

O "byte" de vídeo do espectro visível é composto de 6 bits.

Os 8 ou 6 bits do espectro infravermelho (visível) são disponíveis para a gravação. As imagens gravadas nessas condições abrangem toda a *banda dinâmica* percebida pelo Satélite, isto é:

|                   | PRETO |   | BRANCO |                      |
|-------------------|-------|---|--------|----------------------|
| Visível: de       | 0     | a | 100%   | albedo               |
| Infravermelho: de | 56,8  | a | -109,2 | <sup>o</sup> Celsius |

Utilizam-se os recursos UAI-I de Preprocessamento para a Compressão de "Byte", com a finalidade de extrair o máximo de informação em uma banda tonal mais estreita. Tal procedimento permite economia de memória e visualização de detalhes tonais mais finos, que não seriam acessíveis em uma imagem normal.

#### b) Procedimentos de Saída ou Análise de Imagens

O circuito UAI-I de ANIMAÇÃO permite a comutação de conjuntos de imagens previamente gravadas, para a tela dos monitores de TV. A animação ocorre em uma sequência fechada, variando até 16 imagens. Um exemplo de aplicação desse circuito ocorre na operação de *extração de vetores de vento*.

O circuito de OPERAÇÕES permite operações lógicas entre imagens diferentes ou entre componentes digitais de uma mesma imagem, possibilitando extrair detalhes tonais específicos. Um exemplo de aplicação seria a operação de *extração de isotermas*.

O bloco CONVERSÃO D/A proporciona a recuperação das imagens originais analógicas, a partir de suas componentes digitais previamente gravadas.

Os circuitos de INTERFACE DIGITAL possibilitam a visualização direta de sinais digitais, através de três canais: verde, azul e vermelho, do monitor de TV digital. Este circuito proporciona o realce a cores das imagens, pela técnica de "bit slice".

A operação detalhada do Sistema UAI-I encontra-se no "MANUAL DE OPERAÇÃO UAI-I" (no prelo).

A seguir, apresentam-se as Figuras 7.1, 7.2 e 7.3 referentes ao diagrama de blocos do sistema UAI-I, etapa de entrada, e de saída da unidade de controle, respectivamente.

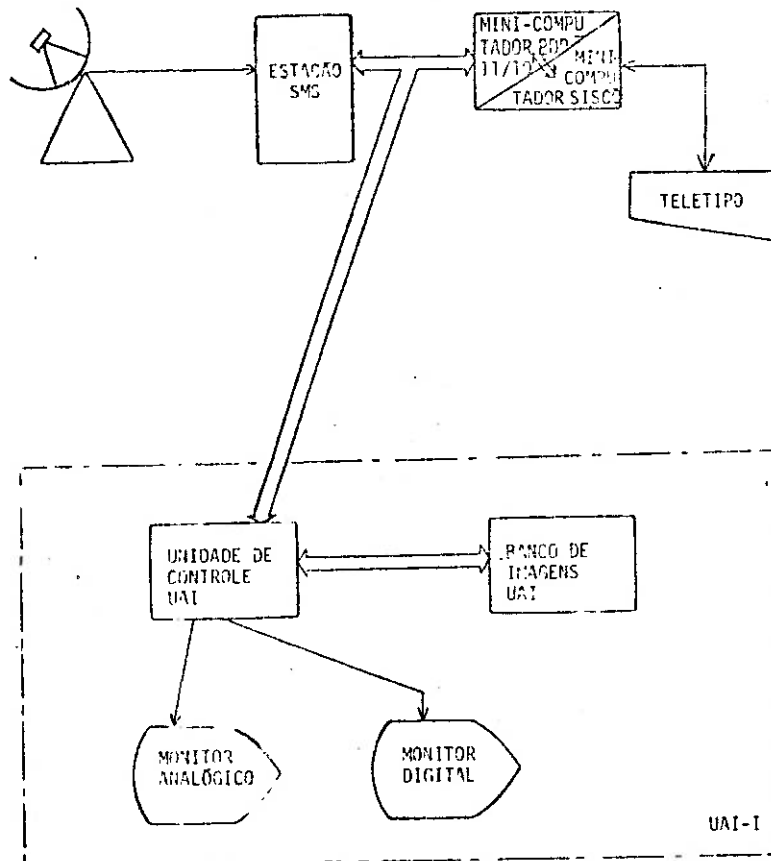


Fig. 7.1 - Diagrama de blocos do UAI-I.



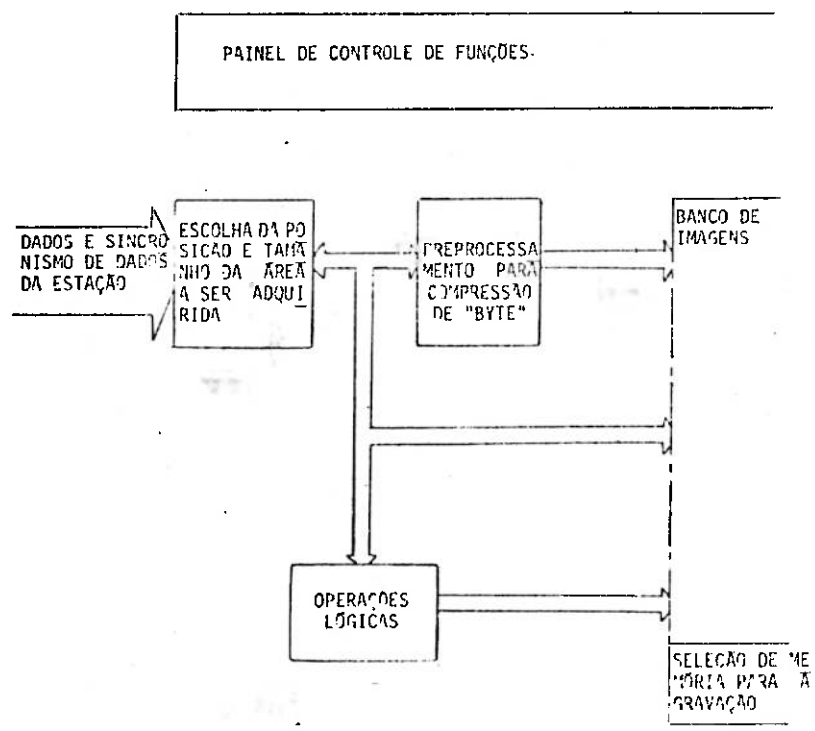


Fig. 7.2 - Etapa de entrada na unidade de controle UAI.

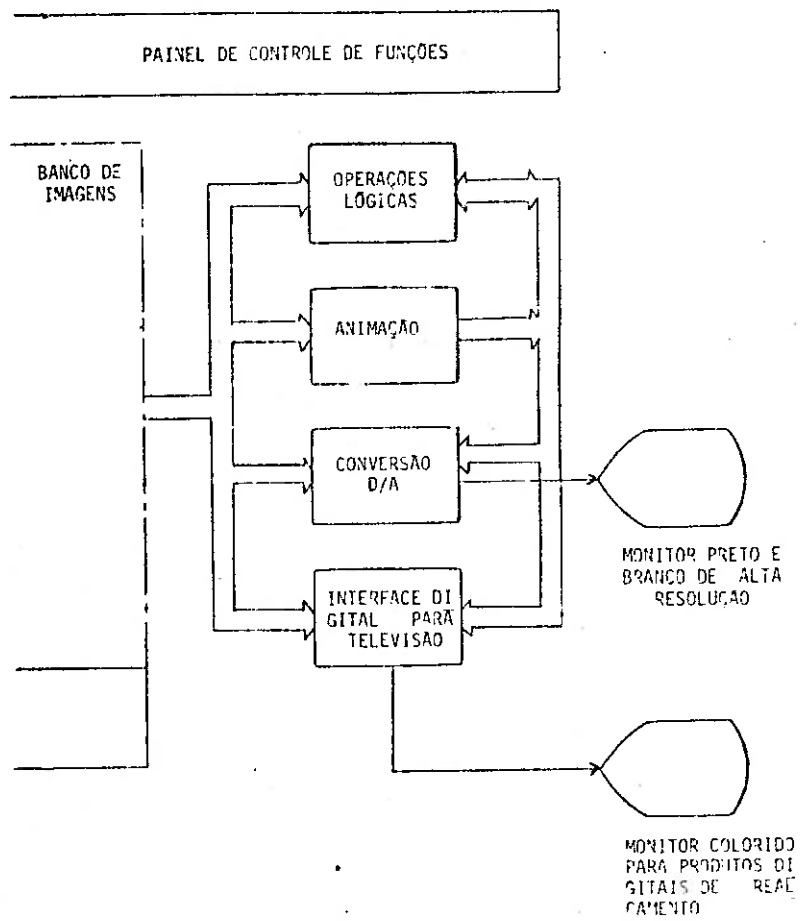


Fig. 7.3 - Etapa de saída na unidade de controle UAI.

## Aplicações do Sistema UAI-I

Concluindo-se, descreve-se a operação do UAI-I com aplicação à Oceanografia, através de um exemplo prático.

### ● Características úteis dos sensores do satélite SMS

#### - Espectro visível

Permite a observação de sedimentos em suspensão na água, que aparecerão nas imagens como tons claros.

#### - Espectro infravermelho

O infravermelho termal do SMS proporciona informações com  $0,5^{\circ}\text{C}$  de resolução de temperatura, na faixa de  $40^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$ , de interesse à Oceanografia.

### ● Exemplo de procedimento

Supondo que se queira observar a evolução da estrutura térmica de uma corrente marítima, procede-se de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Adquire-se inicialmente uma imagem da área, no espectro visível, para verificar se o campo de observação está livre de nuvens.
- 2) Dentro da faixa dinâmica de 0 a 255 níveis de cinza, determina-se a posição e a largura (em contagens digitais) da banda que se quer estudar, do espectro infravermelho. A largura das bandas pode ser 16, 32, 64, 128 ou 256 contagens digitais. O televisor digital proporciona até 8 cores para realçamento. O número de contagens digitais por cor pode ser: 2, 4, 8, 16 e 32.

Com uma resolução radiométrica de  $0,5^{\circ}\text{C}$  na faixa de  $40^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$ , o intervalo de temperatura para cada cor, será: 1, 2, 4, 8 e 16 graus Celsius, respectivamente.

- 3) Uma vez determinada a posição e a largura da banda tonal de interesse, procede-se à gravação.
- 4) Grava-se uma sequência de imagens obtidas pelos procedimentos anteriores. O intervalo de tempo entre as imagens é considerado, levando-se em conta a inércia do fenômeno em observação.
- 5) O conjunto de imagens de alta resolução de temperatura é colocado em animação, se assim se desejar.

Mesmo que o pesquisador não possua modelos físicos sofisticados, o comportamento futuro do fenômeno observado poderá ser extrapolado somente pela observação das propriedades geométricas da evolução de imagens animadas.

A animação de imagens, obtidas no espectro visível, também oferece subsídio importante para o estudo de distribuição e difusão dos sedimentos em suspensão nas águas.

Com a finalidade de atender os usuários externos ao INPE, que utilizam imagens de alta resolução, foi desenvolvido o conceito de UAI-Remoto. Estes aparelhos têm basicamente a capacidade de receber imagens por linha telefônica, armazená-las e proporcionar a sua visualização através de monitores de TV, mantendo grande nitidez de detalhes e fidelidade em relação às imagens obtidas pelo satélite.

### 7.3 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA UAI-REMOTO

O sistema UAI-Remoto pressupõe a existência de uma Unidade Mestre, localizada junto à estação de recepção de dados de satélite no INPE. As funções da Unidade Mestre são:

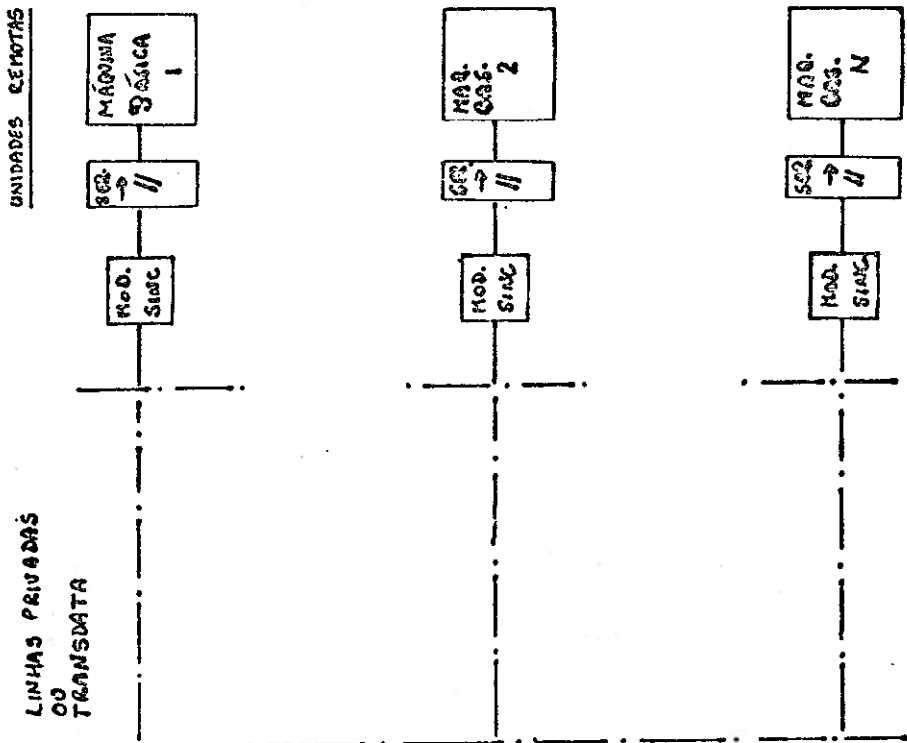
- Aquisição das imagens do satélite em tempo real.
- Adequação às taxas de transmissão por via telefônica, através do armazenamento das imagens recebidas em memórias digitais.
- Visualização das imagens obtidas para monitoração de qualidade.
- Formatação dos dados para permitir a sua transmissão.

Uma só Unidade Mestre é capaz de atender a vários usuários, dependendo de acerto prévio sobre o tipo de imagem de interesse e a frequência de renovação das imagens para cada usuário.

A Figura 7.4 apresenta uma configuração para difusão de imagens de satélite.

O formato das imagens transmitidas é de 512 pontos por linha e 512 linhas. Se cada ponto for representado por cinco bits e se utilizada uma taxa de transmissão de 1200 bits por segundo, uma imagem completa será recebida em dezoito minutos. A estação receptora de imagens dos satélites geoestacionários GOES, localizada no INPE proporciona uma nova imagem a cada 30 minutos; imagem esta que demora também 18 minutos para ser recebida completamente. Existe, portanto, um tempo morto de 12 minutos entre duas recepções consecutivas. Portanto, somente utilizando velocidades de transmissão acima de 1200 bps existe a possibilidade de enviar para os usuários todas as imagens recebidas do satélite; caso contrário, somente poderá ser enviada uma nova imagem a cada hora.

Além das imagens obtidas diretamente da estação receptora, também podem ser processadas imagens de quaisquer outros meios (fitas CCT), desde que no formato digital, bastando para isto utilizar uma interface correspondente à fonte dos dados (Figura 7.5).



**DIFUSÃO DE IMAGENS**  
**TRANSMISSÃO SÍNCRONA POR LINHAS**

| VELOCIDADE À 5 BITS/PIXEL | TEMPO POR IMAGEM | ÁREA DE REC.     |
|---------------------------|------------------|------------------|
| 1200 bps                  | 18' 30"          | 1 IMAGEM / HORA  |
| 2400 bps                  | 9' 12"           | 2 IMAGENS / HORA |
| 4800 bps                  | 4' 36"           | 2 IMAGENS / HORA |

**FORMATO DA LINHA**

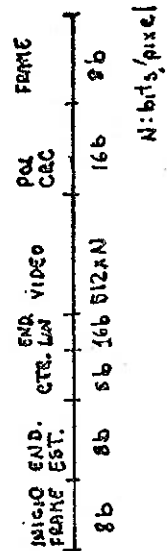
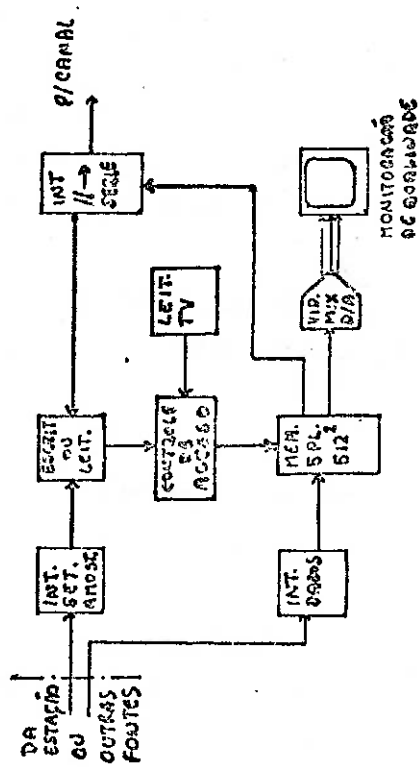
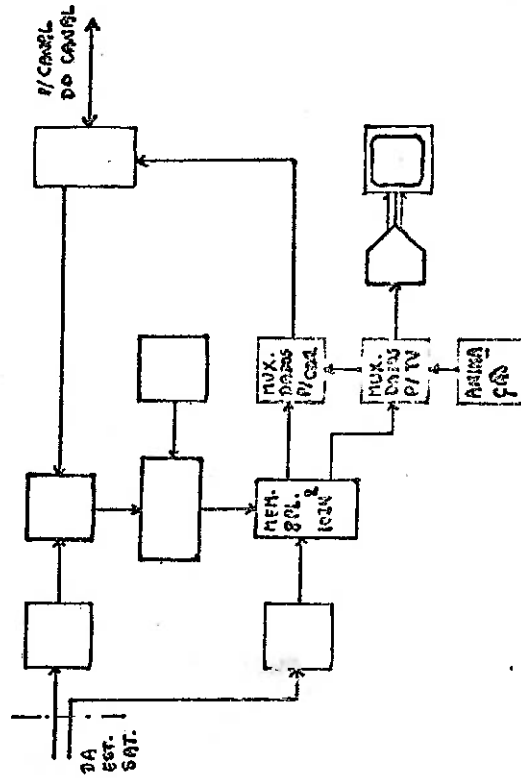


Fig. 7.4 - Uma configuração para a Difusão de Imagens.

CONFIG. INICIAL



CONFIG. FOTOGR



EM FOCO : MÁQUINA LÓGICA  
 VERHEIHO : OPCIONAL

Fig. 7.5 - Configurações para a Unidade Mestre.

Do ponto de vista das Unidades Remotas, o usuário dispõe de várias opções, das mais simples às aquelas com recursos para processamento de imagens.

A Unidade Remota mais simples tem capacidade para armazenar somente uma imagem de cada vez, com 32 níveis de cinza, a cores e em preto e branco (Figura 7.6).

As imagens em preto e branco originais do satélite podem ser realçadas, utilizando-se cores falsas nas Unidades Remotas. Imagens especiais de alta resolução de temperatura (1/2 grau centígrado por cor), realçadas na fonte e contendo até 8 cores, também são disponíveis. Esse tipo de imagem é atualmente utilizado no INPE para o acompanhamento e previsão de geadas, e para a observação da estrutura térmica de correntes marítimas, entre outras aplicações.

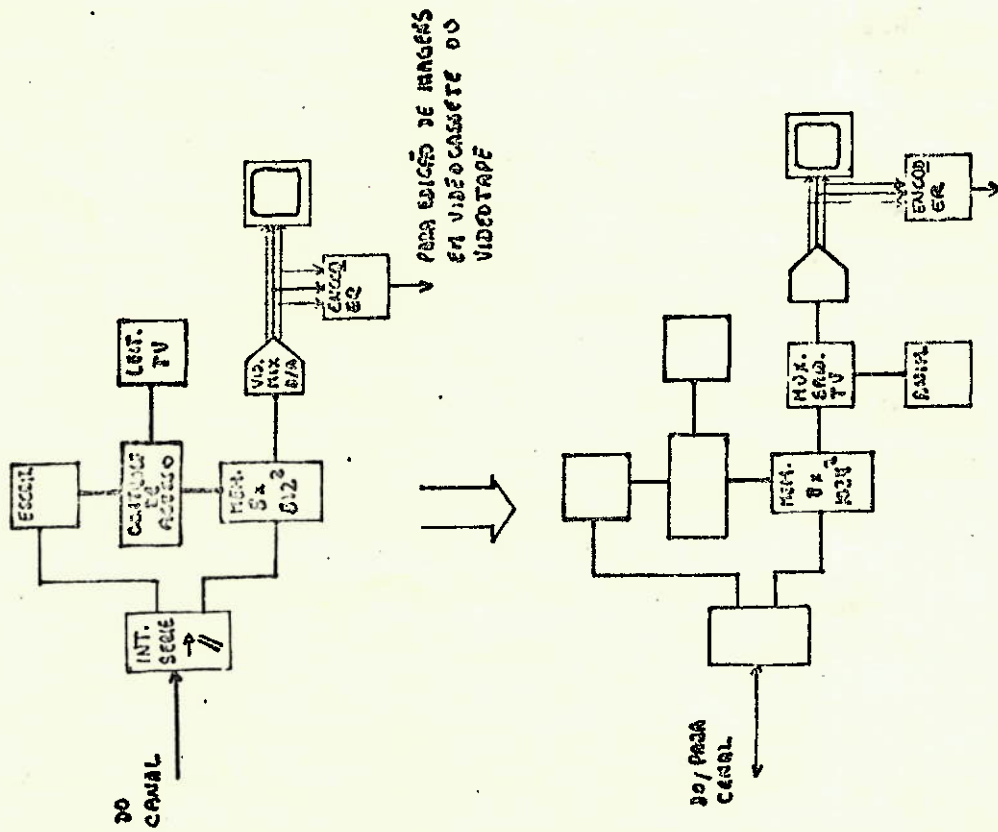
Esse tipo de sistema mais simplificado, dispõe obrigatoriamente de sinais de televisão para vídeo composto, a fim de permitir o arquivo das imagens em meios como vídeo-cassette ou vídeo-tape. Esses meios de gravação proporcionam a edição de sequências muito longas de imagens. É possível assim, a animação de uma sequência de até 2000 imagens correspondentes a 48 imagens por dia, durante 40 dias, em uma fita de vídeo-cassette de uma hora de duração, por exemplo.

Ainda na Figura 7.6, vê-se uma configuração com maior capacidade de armazenamento (até 4 imagens diferentes, com 256 níveis de cinza, ou cores, por imagem)

Essa configuração permite a imediata animação de todo o conteúdo de imagens da memória.

É oferecida também uma interface para cópia das imagens de televisão em aparelho fac-símile do tipo NEFAX, que produz imagens em preto e branco, de baixa resolução.





EVOLUINDO P/ A MÁQUINA UAI-II  
DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Fig. 7.6 - Configurações para a Unidade Remota.

Finalmente, cumpre assinalar que as Unidades Remotas constituem-se modularmente e a opção por uma certa configuração permite de se desenvolvimentos futuros, podendo-se chegar enfim a um sistema completo para processamento de imagens, do tipo UAI-II, que recebe imagens de satélite, em tempo real, por via telefônica.

OBS: Abreviaturas usadas nas Figuras 7.4, 7.5 e 7.6.

INT. → Interface  
SET. → Setorização  
MEM. → Memórias  
PL. → Planos  
VID. → Vídeo  
MIX. → "MIXER"  
EST. → Estação  
SAT. → Satélite  
MUX. → Multiplex  
MOD. → Modem  
SER. → Série  
CTR. → Controle  
POL. → Polinômio  
LIN. → Linha  
END. → Endereço  
REP. → Repetição  
MAQ. → Máquina  
BAS. → Básica

## CAPÍTULO 8

### DISSEMINAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS POR VIA TELEFÔNICA

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 8.1 - Introdução .....                                  | 8.1         |
| 8.2 - Descrição geral dos sistemas de transmissão ..... | 8.1         |
| 8.2.1 - Sistema de compressão/descompressão .....       | 8.1         |
| 8.2.2 - Sistema WEFAX .....                             | 8.6         |
| 8.2.3 - Sistema NEFAX .....                             | 8.7         |
| 8.2.4 - Sistema INFAX .....                             | 8.9         |
| 8.2.5 - Sistema de UAI-Remoto .....                     | 8.9         |
| 8.3 - Linhas telefônicas .....                          | 8.11        |

Autores: Juan Carlos Pinto de Garrido  
José Roberto de Oliveira

## LISTA DE FIGURAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 8.1 - Diagrama geral do sistema de compressão/descompressão ..               | 8.2         |
| 8.2 - Imagem original do satélite SMS recebida no INPE .....                 | 8.4         |
| 8.3 - Imagem obtida através do sistema de compressão/descompres<br>são ..... | 8.5         |
| 8.4 - Diagrama geral do sistema WEFAX .....                                  | 8.6         |
| 8.5 - Diagrama geral do sistema NEFAX .....                                  | 8.7         |
| 8.6 - Imagem obtida através do sistema NEFAX .....                           | 8.8         |
| 8.7 - Diagrama geral do sistema INFAX .....                                  | 8.9         |
| 8.8 - Diagrama geral do sistema UAI-Remoto .....                             | 8.10        |

## CAPÍTULO 8

### DISSEMINAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS POR VIA TELEFÔNICA

#### 8.1 - INTRODUÇÃO

A necessidade de disseminar, para os diversos usuários, as imagens de satélites meteorológicos, recebidas pelo INPE, originou alguns sistemas de transmissão que utilizam linhas telefônicas. Abaixo, são descritos, de maneira geral, estes sistemas. Alguns deles se encontram em operação, enquanto outros estão na fase de desenvolvimento.

#### 8.2 - DESCRIÇÃO GERAL DOS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO

##### 8.2.1 - SISTEMA DE COMPRESSÃO/DESCOMPRESSÃO

Este sistema baseia-se na técnica de codificação delta/DPCM adaptativa. Suas principais vantagens são a baixa taxa de transmissão (abaixo de 1,5 bits/"pixel") e a alta qualidade da imagem reproduzida.

A Figura 8.1 mostra o diagrama de blocos deste sistema.

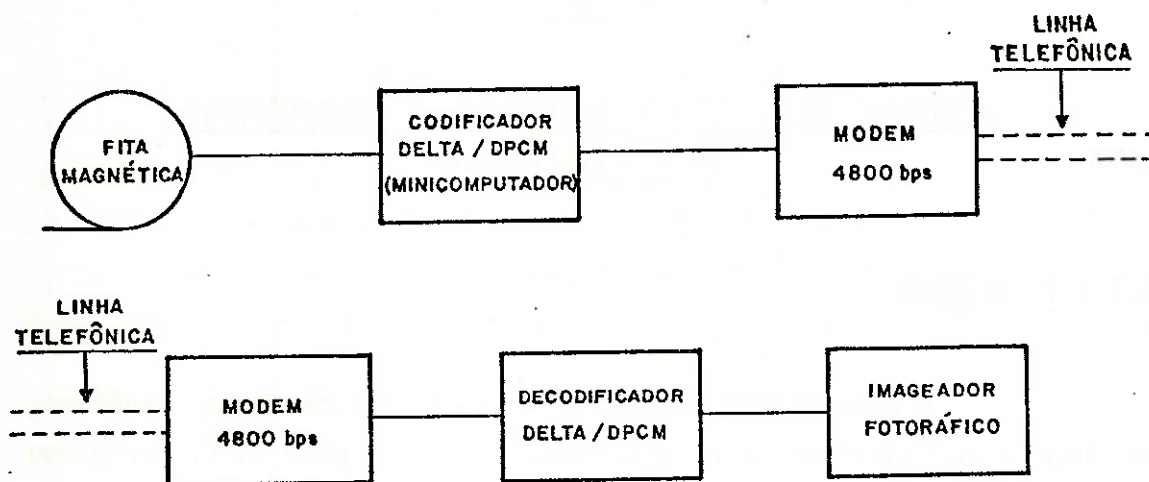


Fig. 8.1 - Diagrama geral do sistema de compressão/descompressão.

### Fita Magnética

A imagem a ser comprimida fica armazenada numa fita magnética. No caso de imagens no infravermelho do satélite SMS/GOES, que possui 1911 linhas e 1911 "pixels"/linha, sendo cada "pixel" representado por 8 bits (256 níveis de cinza), um total de  $1911 \times 1911 \times 8$  bits ( $\sim 30 \times 10^6$  bits) é armazenado.

### Codificador delta/DPCM

O codificador ou compressor delta/DPCM seleciona um dos dois modos de operação, de acordo com o nível de cinza que está armazenado na fita. Nas regiões de pequenas variações de uma imagem, o codificador opera no modo delta, produzindo um bit por elemento de imagem. O modo DPCM ("Differential Pulse Code Modulation"), com três bits por elemento, opera nas regiões de variações acentuadas do sinal.

### MODEM (4800 bps)

Como a linha telefônica opera com sinais analógicos, existe a necessidade de um modem que aceite sinais digitais do codificador e os convertam para sinais analógicos (modulação). Na recepção, o demodulador aceita sinais analógicos e os convertem para a forma digital, a fim de ser convenientemente processados pelo decodificador delta/DPCM. O modem utilizado neste sistema de transmissão opera numa taxa de 4800 bits/s.

### Decodificador Delta/DPCM

O decodificador reconstrói a imagem que foi comprimida; ele realiza a descompressão dos dados de imagem e os envia para o Imageador Fotográfico.

### Imageador Fotográfico

O Imageador Fotográfico é capaz de produzir um filme negativo ou positivo de alta resolução, reproduzindo, portanto, a imagem transmitida.

As fotos nas Figuras 8.2 e 8.3 referem-se às imagens, no infravermelho, do satélite SMS-2. A Figura 8.2 corresponde a uma imagem original recebida no INPE. O gradeamento foi retirado para que a comparação com a foto da Figura 8.3, obtida através do sistema de compressão/descompressão, fosse realizada com maior facilidade.

Observa-se que a qualidade da imagem obtida através deste sistema é excelente, não havendo praticamente diferenças com relação a imagem original.



Fig. 8.2 - Imagem original do satélite SMS recebida no INPE.





Fig. 8.3 - Imagem obtida através do sistema de compressão/descompressão.

### 8.2.2 - SISTEMA WEFAX

Este sistema, cujo diagrama geral é mostrado na Figura 8.4, utiliza o sinal WEFAX, que o INPE recebe operacionalmente dos satélites da série SMS/GOES e o coloca em uma linha telefônica à disposição dos usuários.

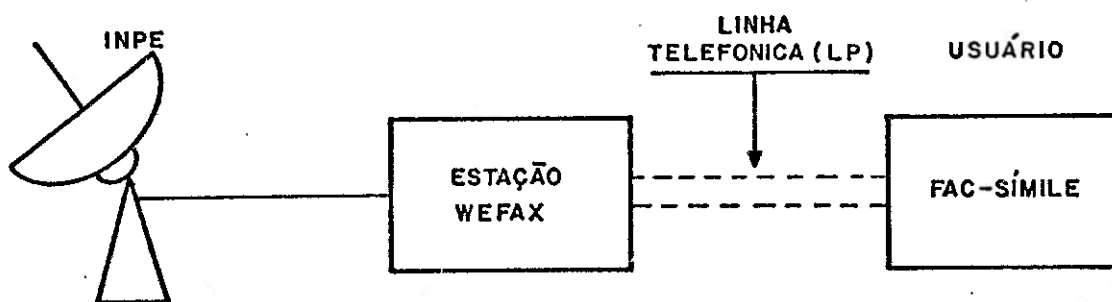


Fig. 8.4 - Diagrama geral do sistema WEFAX.

O sinal é próprio para utilização em fac-símile do tipo ALDEN, largamente utilizado no Brasil pelos órgãos operacionais de meteorologia. Este equipamento opera praticamente sem a interferência do operador, pois o sinal WEFAX contém os tons de partida, de sincronismo e de parada que ele exige.

A imagem obtida é de qualidade média, em tons de marrom e são transmitidas em horários fixos.

Este serviço já está em operação no INPE há mais de dois anos, apresentando uma taxa de falhas bastante reduzida. A alta confiabilidade do sistema é garantida pela existência de três sistemas de recepção, que podem ser recambiados.

O custo cobrado pelo INPE por este serviço é baixo, pois não envolve mão de obra para operar o sistema; entram no custo apenas os serviços de manutenção da estação receptora. Por outro lado, o usuá

rio terá de arcar ainda com os custos de uma linha privada (LP), pois com o sistema DDD a operação seria muito difícil).

### 8.2.3 - SISTEMA NEFAX

Este sistema (Figura 8.5) se baseia no fac-símile NEFAX, modelo 1000, fabricado pela NEC do Brasil. As fotografias obtidas normalmente no INPE ou as de qualquer outro tipo podem ser transmitidas, e são recebidas em papel na dimensão A4.

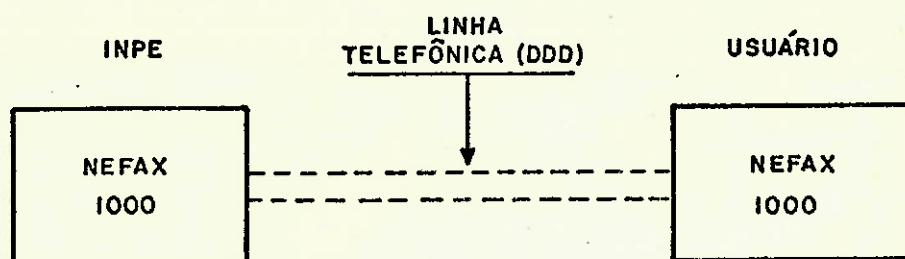


Fig. 8.5 - Diagrama geral do sistema NEFAX.

O aparelho deve ser instalado junto a um telefone comum, sem, entretanto, prejudicar o seu funcionamento.

Para a obtenção de uma imagem, basta que o usuário esta beleaça uma ligação DDD para o INPE ((0123) 22-9977 Ramal 380).

Um operador atende ao chamado e procede à transmissão da imagem solicitada.

A imagem reproduzida por este sistema é de boa qualida de, mesmo quando são obtidas a longas distancias.

O serviço está disponível 24 horas por dia, mesmo em do mingos e feriados.

Cada imagem leva 6 minutos para ser transmitida. Entretanto, para cálculo de custo, deve-se considerar um tempo médio de oito minutos. O papel utilizado no NEFAX é do tipo especial eletro-sensível, cujo custo atual (agosto 1981) está em Cr\$ 7.000,00 por pacote de 200 folhas. Por este serviço, o INPE cobra atualmente Cr\$ 158,00 por foto transmitida (preço válido até outubro 1981).

A Figura 8.6 apresenta uma imagem obtida através deste sistema.



Fig. 8.6 - Imagem obtida através do sistema NEFAX.

#### 8.2.4 - SISTEMA INFAX

O sistema INFAX (INPE-fac-símile), cujo diagrama de bloco é mostrado na Figura 8.7, consiste em uma portadora de 2400 Hz, modulada em AM por um sinal no formato fac-símile (120 ou 240 rpm, índice de de cooperação 538 ou 269), com tons de partida e parada gerados a partir de imagens de alta resolução, gravadas em fita magnética. Neste caso, é possível incluir inscrição na imagem, setorizar áreas de interesse e fazer um realce específico para cada aplicação.

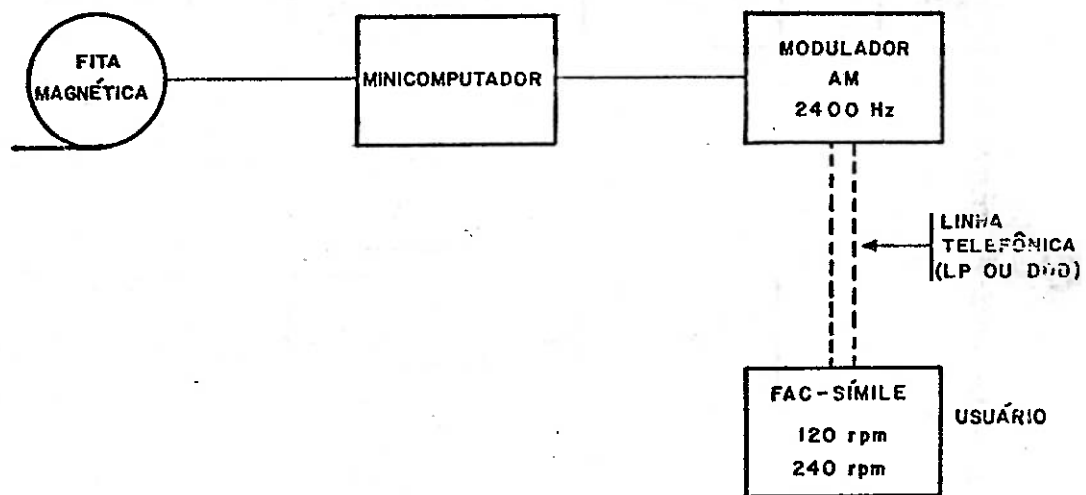


Fig. 8.7 - Diagrama geral do sistema INFAX.

#### 8.2.5 - SISTEMA DE UAI-REMOTO

Neste sistema (Figura 8.8), as imagens são mostradas em monitores de TV a cores, com possibilidade de armazenar e realizar animação para quatro imagens. Os sinais recebidos pela Estação Receptora são armazenados temporariamente na UAI (Unidade de Armazenamento e Análise de Imagens). A Interface de Comunicação aceita os dados em paralelo, provenientes da UAI, e os converte em uma sequência de bits devidamente formatadas. Os modems fazem a conexão com a linha telefônica.

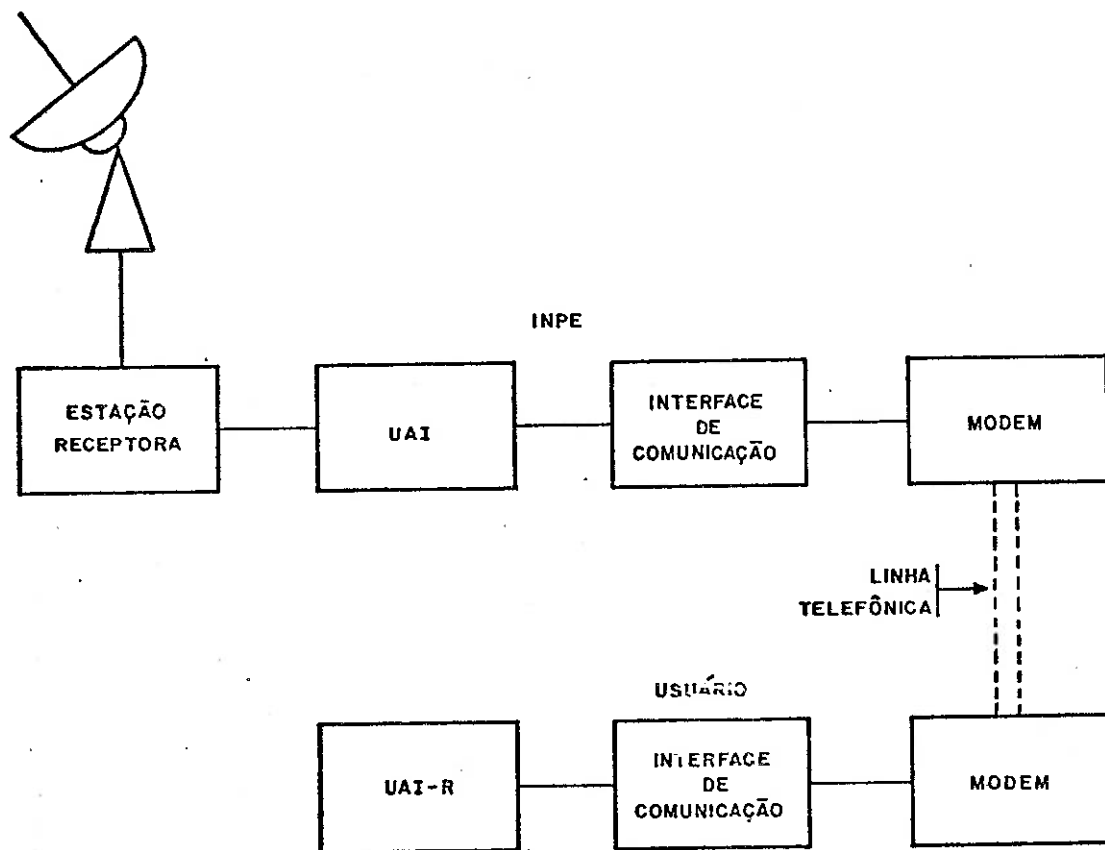


Fig. 8.8 - Diagrama geral do sistema de UAI-Remoto.

O usuário situado num local remoto também pode dispor de uma UAI-Remoto, podendo, portanto, usufruir das mesmas vantagens de um usuário localizado no INPE.

A UAI dispõe de dois monitores de TV, sendo um deles colorido, e um conjunto de controles que permite a interação do usuário com o sistema. Através desses controles, o usuário informa ao sistema o tipo de dado de imagem e o modo de realçamento que ele deseja utilizar. O sistema ativa os comandos em seqüências específicas, que são comunicadas aos monitores de TV. O usuário examina os dados, toma alguma decisão sobre estes e acessa o sistema para realizar alguma medida ou

análise sobre os dados. Em suma, o sistema adquire e processa os dados, de acordo com as condições pré-estabelecidas pelo usuário, realiza me di das ou análises e apresenta o resultado no formato selecionado pelo usuário.

Entre as principais aplicações deste sistema estão:

- Aquisição das imagens em tempo real, desde que seja utilizada velocidades igual ou maiores que 1200 bps.
- Armazenamento de até quatro imagens, que podem ser animadas pa ra observar a dinâmica de formação e de deslocamento das nuvens.
- Realçamento, ou seja, transformação da escala de cinza numa es cala colorida. O usuário define, portanto, um realçamento asso ciado a uma cor particular, com um determinado nível de matiz, saturação e intensidade. Isto é bastante útil na determinação de isotermas.
- Operação de determinação de vetores de vento, que é realizada de modo semi-automático, utilizando o circuito de animação e o programa de navegação.

O primeiro protótipo da UAI encontra-se em operação no INPE desde junho 1980. O sistema UAI-R está em desenvolvimento, e espe ra-se que esteja disponível para o usuário em meados de 1982.

### 8.3 - LINHAS TELEFÔNICAS

Com excessão do sistema NEFAX, que pode usar o DDD, to dos os outros requerem linhas privadas. Isto significa o pagamento de um aluguel mensal da linha, independente do tempo de uso efetivo. A Tab ela 8.1 mostra o custo mensal de algumas modalidades de linhas telefônicas privadas (preços em vigor em fevereiro de 1981), para diversas cidades brasileiras, utilizando transmissão ponto a ponto, a partir de São José dos Campos.

TABELA 8.1

ALUGUEL MENSAL DE LINHA TELEFÔNICA PRIVADA - TRANSMISSÃO PONTO A PONTO A PARTIR DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

| TIPO<br>CIDADE | VOZ        | 4800 bps   | 2400 bps   | 1200 bps   | CANAL<br>TELEGRÁFICO<br>30 bps | MINUTO<br>DE DDD |
|----------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------|------------------|
| São Paulo      | 140.000,00 | 127.600,20 | 87.003,80  | 54.134,60  | 19.041,10                      | 30,34            |
| Rio de Janeiro | 236.262,00 | 152.945,00 | 104.286,00 | 64.886,90  | 22.882,80                      | 51,19            |
| Belo Horizonte | 303.654,00 | 305.891,30 | 208.572,00 | 129.773,80 | 45.645,60                      | 65,79            |
| Brasília       | 333.216,00 | 382.363,80 | 260.715,00 | 162.216,60 | 57.057,00                      | 72,20            |
| Salvador       | 351.546,00 | 382.363,80 | 260.715,00 | 162.216,60 | 57.057,00                      | 76,17            |
| Campina Grande | 374.400,00 | 436.987,20 | 297.960,00 | 185.390,40 | 65.208,00                      | 81,12            |
| Fortaleza      | 374.400,00 | 436.987,20 | 297.390,40 | 185.390,40 | 65.208,00                      | 81,12            |
| Belém          | 374.400,00 | 436.987,20 | 297.390,40 | 185.390,40 | 65.208,00                      | 81,12            |
| Manaus         | 374.400,00 | 436.987,20 | 297.960,40 | 185.390,40 | 65.208,00                      | 81,12            |

Preços de fevereiro de 1981.



## CAPÍTULO 9

### SISTEMA OPERACIONAIS E FUTUROS PROGRAMAS DO INPE

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 9.1 - Apresentação .....  | 9.1         |
| 9.2 - Programa aplicações meteorológicas .....                    | 9.1         |
| 9.2.1 - Introdução .....  | 9.1         |
| 9.2.2 - Objetivo do programa .....                                | 9.2         |
| 9.2.3 - Projetos que compõem o programa .....                     | 9.3         |
| 9.3 - Programa de instrumentação e satélites meteorológicos ..... | 9.6         |
| 9.3.1 - Introdução .....  | 9.7         |
| 9.4 - Programa de serviços de satélites meteorológicos .....      | 9.12        |
| 9.4.1 - Centro .....  | 9.13        |
| 9.4.2 - Operação SMS/GOES .....                                   | 9.13        |
| 9.4.3 - Operação TIROS .....                                      | 9.15        |
| 9.4.4 - Operação Transmissão .....                                | 9.15        |
| 9.4.5 - Operação APT/WEFAX .....                                  | 9.15        |
| 9.4.6 - COMA - Centro meteorológicos de primeira classe .....     | 9.16        |

Autor: Fausto Carlos de Almeida  
José Roberto de Oliveira  
Pedro Rubens A. de Carvalho



## CAPÍTULO 9

### SISTEMAS OPERACIONAIS E FUTUROS PROGRAMAS DO INPE

#### 9.1 - APRESENTAÇÃO

Neste capítulo são descritos os programas do Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, relacionados com o curso sobre Satélites Meteorológicos, Aplicações e Foto Interpretação. São eles os Programa de Aplicações Meteorológicas, o Programa de Instrumentação e Satélites Meteorológicos, e o Programa de Serviços de Satélites Meteorológicos.

#### 9.2 - PROGRAMA APLICAÇÕES METEOROLÓGICAS

##### 9.2.1 - INTRODUÇÃO

Desde a criação do Projeto MESA (Meteorologia por Satélite), já no início das atividades do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) naquela época CNAE (Comissão Nacional de Atividades Espaciais), o envolvimento do Instituto com a meteorologia vem se desenvolvendo com prioridade na área de satélites. Destacam-se suas inúmeras conquistas, sendo que hoje o INPE tem uma infra-estrutura montada, em seu Departamento de Meteorologia, capaz de receber e processar sinais e imagens de todos os satélites meteorológicos em órbita, passíveis de serem vistos pelas antenas em São José dos Campos.

Dado este estágio de desenvolvimento e operacionalidade dos sistemas existentes no INPE para recepção e processamento, o programa de aplicações meteorológicas, recentemente criado no INPE (julho de 1980) tem entre suas principais atividades a pesquisa, no sentido de desenvolver técnicas de extração de informações, provenientes dos dados coletados pelos sensores a bordo dos satélites meteorológicos.

Outra atividade do programa, refere-se à definição, ao desenvolvimento e à operacionalização de um Banco de Dados Meteorológicos. O INPE opera estações de recepção e gravação de sinais dos satélites

tes meteorológicos e tem a preocupação de criar não só um arquivo de imagens, mas também facilitar aos seus pesquisadores e a todas as instituições nacionais ou estrangeiras, que de uma forma ou de outra se utilizam de imagens dos satélites meteorológicos, a consulta e obtenção destes dados em suas várias opções.

Hoje o Departamento de Meteorologia, através de sua Divisão de Aplicações Meteorológicas (DAM), opera um serviço de consulta e aquisição de imagens de satélites meteorológicos. Este serviço encontra-se a disposição de todos.

É notório aqueles que se dedicam ou são usuários dos diversos subsistemas produtivos do país que os efeitos das variações climáticas, nestes subsistemas, são intensos e às vezes devastadores. Estes efeitos vão desde aqueles que podem passar despercebidos para a grande maioria, mas que causam efeitos catastróficos em pequena escala (construção civil, transporte, etc), até aqueles como as grandes enchentes e secas, geadas e granizo, que influenciam a qualidade e quantidade de alimentos, tanto os de consumo interno como os de exportação; a disponibilidade de energia (hidroelétrica e biomassa); entre outros que sempre apresentam, em maior ou menor escala, consequências socioeconômicas negativas para o país.

No sentido de integrar as informações convencionais, e/ou aquelas obtidas por satélites, a métodos e sistemas capazes de ajudar ao homem no seu esforço de conviver e/ou tirar proveito da atmosfera em que vive, o programa de aplicações meteorológicas mantém esforços no sentido de identificar e quantificar interações, e desenvolver técnicas e modelos para gerenciamento dos recursos atmosféricos, sendo este o seu grande objetivo.

#### 9.2.2 - OBJETIVO DO PROGRAMA

O programa de Aplicações Meteorológicas (PAM) tem por objetivo principal desenvolver técnicas e modelos de gerenciamento de re

cursos atmosféricos, para aplicação nas áreas da agricultura, meio ambiente e energia.

Este objetivo será alcançado através da investigação sistêmica dos mecanismos de interação entre a atmosfera e as atividades humanas, bem como através do desenvolvimento dos sistemas necessários ao tratamento de informações meteorológicas, especialmente de satélites

O conceito de gerenciamento de recursos atmosféricos consiste na consideração dos fatores meteorológicos, para a otimização dos processos de operação e tomada de decisão, nas diversas áreas da atividade humana.

Para tanto, o programa se constitui em três projetos a saber: Projeto DADOS, projeto PROSAT e o projeto RECAT, descritos a seguir.

### 9.2.3 - PROJETOS QUE COMPÕEM O PROGRAMA

#### - Projeto Tratamento de Dados Meteorológicos - DADOS

*Objetivo:* Desenvolver um sistema de aquisição, arquivo e recuperação de dados meteorológicos (convencionais e de satélites), incluindo o "software" de suporte.

*Descrição:* Dentro dos objetivos do projeto, já foram desenvolvidos programas de aquisição e decodificação automáticos dos dados de telex, provenientes do GTS (Global Telecommunications System). Um outro programa, utilizando o princípio da interação homem-máquina, através de um terminal de vídeo do tipo inteligente, dedica-se a correções daqueles dados que não puderam ser decodificados automaticamente. Este sistema, já em fase de testes finais, permitirá a aquisição em tempo real dos dados disponíveis na rede GTS.

Uma outra atividade deste projeto, dentro de seu objetivo de desenvolver um sistema de aquisição, arquivo e recuperação, já se encontra em fase de definição dos diversos níveis, variáveis, campos e outros padrões que constituirão o Banco de Dados e Imagens, para que seja executada a programação e posterior teste do sistema como um todo. Este esforço envolve outros grupos do INPE, além daqueles alocados no Departamento de Meteorologia do Instituto, especialmente os da Divisão de Processamento de Dados (DPD) do Departamento de Apoio Técnico. Neste projeto, são feitas também aquisições de dados obtidos em outras instituições, que nacionais ou estrangeiras..

Uma das principais atividades decorrentes do desenvolvimento deste projeto, é a operação de um serviço de consulta e aquisição de imagens de satélites meteorológicos.

- Projeto Processamento de Imagens de Satélites Meteorológicos  
- PROSAT

*Objetivo:* Desenvolver e implantar técnicas de tratamento de imagens de satélites meteorológicos.

*Descrição:* Neste projeto, os esforços têm sido concentrados na utilização das imagens dos canais visível e infravermelho, dos satélites do tipo geoestacionário da série GOES. Destacam-se, neste projeto: as *estimativas de radiação solar incidente*, pelo uso das imagens no canal visível e de um modelo físico de transferência de radiação; e as *estimativas de precipitação*, pelo uso das imagens infravermelhas e do canal visível, onde várias técnicas estão sendo estudadas, tais como as técnicas conhecidas pelo nome de Scofield/Oliver e as de Griffith. Está sendo desenvolvida também uma outra metodologia, para a estimativa de precipitação, através da elaboração de um modelo físico dos sistemas precipitáveis. Utilizando-se um outro instrumento, constituído de radiômetros e filtros, sensível a uma larga banda de energia, a dedução de perfis verticais de temperatura e vapor d'água se torna possível. Este cálculo repousa no

desenvolvimento de modelos numéricos para a solução das equações de transferência, conhecidos matematicamente como problema de inversão.

Note-se que estas técnicas, quando desenvolvidas e tratadas, oferecem uma poderosa ferramenta para a observação dos vários parâmetros de estado, através de sensoriamento remoto, isto é, pelo uso dos satélites meteorológicos. Pela sua própria natureza, os satélites oferecem ótima cobertura espacial, que no caso abrangem com um único instrumento todo o Brasil, e resolução espacial e temporal, no mínimo compatíveis, e para certas aplicações, melhores que os sistemas ditos convencionais. Outras inferências como a estimativa de ventos, através do cálculo do deslocamento de nuvens nas imagens dos satélites, também são alvo deste projeto.

#### - Projeto Recursos Atmosféricos - RECAT

*Objetivo:* Desenvolver técnicas e modelos de gerenciamento dos recursos atmosféricos.

*Descrição:* Neste projeto, pretende-se integrar os dados obtidos de forma convencional e/ou por satélites com técnicas e modelos que possam quantizar as interações das flutuações das variáveis meteorológicas com a atividade humana considerada.

Exemplos deste esforço são os modelos que estão sendo desenvolvidos para a previsão da produtividade (safra) agrícola, a dispersão de poluentes e os modelos hidrometeorológicos para a previsão de vazões e balanço hídrico. Outro exemplo é a detecção e acompanhamento de áreas afetadas pela geada. Neste caso, imagens no canal infravermelho são processadas, e áreas com diferenças de temperatura de até 1°C são detetadas e medidas. Assim, realizam-se cálculos para prever o deslocamento destas áreas e suas possíveis consequências nas culturas afetadas.

Resultados de outros projetos serão utilizados em modelos específicos para aplicação em áreas como energia solar (levantamento do potencial solar energético brasileiro), recursos hídricos e outros.

### 9.3 - PROGRAMA DE INSTRUMENTAÇÃO E SATÉLITES METEOROLÓGICOS

#### 9.3.1 - INTRODUÇÃO

O objetivo geral do Programa de Instrumentação e Satélites Meteorológicos (INSAT) é desenvolver sistemas, instrumentação e técnicas modernas de observação, processamento e disseminação de dados meteorológicos. Isto inclui, por exemplo, o desenvolvimento de: estações receptoras de satélites meteorológicos; sistemas de processamento automático de imagens; técnicas de compressão de imagens; estações telemétricas automáticas para coleta de dados ambientais; e sensores de parâmetros ambientais. A longo prazo, este programa prevê o desenvolvimento de cargas úteis de aplicação meteorológica, para voarem a bordo de satélites, foguetes ou balões.

Este Programa foi o primeiro a ser estabelecido no Instituto de Pesquisas Espaciais, na área de meteorologia. Ele se originou em 1967, com o Projeto Meteorologia com Satélite, que possibilitou o desenvolvimento da Estação APT de recepção de satélites meteorológicos. Desde esta data o INPE vem acompanhando passo a passo a evolução dos satélites meteorológicos, através do desenvolvimento da infraestrutura para receber seus sinais, processá-los, utilizá-los em pesquisa, e disseminá-los aos usuários.

A enorme quantidade de dados fornecidos pelos satélites meteorológicos motivou o desenvolvimento de novos sistemas, para permitir a extração das informações em tempo hábil e de forma eficaz. É dentro deste contexto que este Programa prevê o desenvolvimento de um sistema de processamento de imagens meteorológicos, utilizando o conceito de interação homem-máquina.



A coleta de dados meteorológicos ou do meio ambiente, de uma maneira geral, não é de fácil solução no Brasil. Tem-se um território com área superior a 8,5 milhões de quilômetros quadrados, onde a maior parte é ainda inabitada e de difícil acesso. As plataformas de coleta de dados (PCD) apresentam-se como uma solução economicamente viável para solucionar este problema a nível nacional. As plataformas de Coleta de Dados nada mais são do que estações telemétricas, operadas em conjunto com os satélites meteorológicos.

### 9.3.2 - DESCRIÇÃO DOS PROJETOS

#### - Projeto estação SMS/METEOSAT

Este projeto visa desenvolver equipamentos e programas de computador, necessários para a recepção e o processamento das imagens transmitidas pelos satélites meteorológicos geostacionários, das séries SMS/GOES e METEOSAT.

O subsistema para recepção e processamento das imagens SMS/GOES, desenvolvido neste projeto, vem operando desde setembro de 1978. A partir daí foram incorporados diversos aperfeiçoamentos, tais como a instalação, em fins de 1980, do imageador a laser, denominado VIZIR e, maio de 1981, a instalação de uma antena 8,5 metros. Esta antena foi desenvolvida especialmente para este projeto, pela indústria nacional.

A curto prazo, os principais objetivos deste projeto são:

- Aperfeiçoar e duplicar os equipamentos já desenvolvidos, visando o aumento da confiabilidade da Estação;
- concluir o desenvolvimento do subsistema de recepção e processamento das imagens transmitidas pelo METEOSAT;
- criar ferramentas de computação para a produção eficiente de programas do tipo Tempo Real, confiáveis;

- realizar adaptações necessárias para decodificação dos sinais do VAS (Vertical Atmospheric Sounder).

- Projeto estação TIROS/NOAA

Este projeto visa desenvolver equipamentos e algoritmos necessários para a recepção e o processamento dos sinais transmitidos pelos satélites da série TIROS-N/NOAA.

Os instrumentos de bordo destes satélites são os seguintes: Radiômetro Avançado de Resolução Muito Alta (AVHRR), Sondador Vertical Operacional TIROS (TOVS), Sistema de Coleta de Dados ARGOS, e Monitor de Ambiente Espacial (SEM).

Os dados correspondentes a todos estes instrumentos são transmitidos em forma digital, a 665,4 kbits por segundo, na portadora de 1698,0 MHz. Para recebê-los foi desenvolvida a Estação TIROS/NOAA, que está em operação desde abril de 1980.

A curto prazo, os principais objetivos deste projeto são:

- aperfeiçoar e duplicar os equipamentos já desenvolvidos, visando o aumento da confiabilidade da Estação;
- interligar esta Estação com o imageador VIZIR, permitindo a produção de imagens AVHRR em tempo real e de melhor qualidade;
- instalar minicomputador dedicado exclusivamente à Estação, de modo a tornar possível a decodificação e disseminação dos dados das Plataformas de Coleta de Dados - ARGOS, além da produção de imagens AVHRR e a decodificação dos dados do TOVS.
- Projeto Sistema Interativo de Tratamento de Imagens Meteorológicas (SITIM)

Um satélite da série SMS/GOES gera uma quantidade de dados superior a  $10^{11}$  bits por dia. A tarefa de processar estes dados é

bastante complexa, principalmente quando se deseja estudar fenômenos de mesoescala (pequena área geográfica e de curta duração), para os quais é necessária uma alta resolução espacial aliada a uma alta resolução temporal.

O problema que se apresenta é, portanto, o de converter um fluxo muito grande de dados, com baixa densidade de informação, em um volume menor de dados, com alta densidade de informação. Isto deve ser feito no menor tempo possível.

Sistemas que utilizam terminais gráficos de vídeo, acoplados a um computador e controlados por um sistema operacional interativo, têm demonstrado bastante eficiência nesta tarefa de redução de dados. A universidade de Wisconsin foi pioneira nesta área, com o desenvolvimento do sistema McIDAS (Man-computer Interactive Data Access System).

O objetivo do projeto SITIM é desenvolver um Sistema Interativo de Tratamento de Imagens Meteorológicas. Este projeto foi iniciado em 1978, com o desenvolvimento da UAI (Unidade de Armazenamento e Análise de Imagens), que atualmente se encontra em operação junto à Estação SMS/METEOSAT, mostrando, em tempo real, as imagens captadas. Uma segunda versão aperfeiçoada desta Unidade está sendo desenvolvida, com o propósito de conectá-la a um minicomputador.

A arquitetura do SITIM será baseada em duas UCPs (Unidade Central de Processamento), suportadas por uma unidade de disco de 320 MBytes. Uma UCP cuidará da aquisição dos dados, e a outra do processamento e do controle das UAIs. As UAIs terão microprocessadores para a execução de tarefas específicas.

A curto prazo, os principais objetivos deste projeto são:

- concluir o desenvolvimento da UAIs

- instalar uma unidade de disco de 80 MByte, expandir a memória do minicomputador MB-8000 e iniciar o desenvolvimento de software do SITIM;
  - desenvolver um sistema de gravação dos dados provenientes da estação SMS/METEOSAT, utilizando-se gravador-reprodutor de vídeo cassete;
  - desenvolver uma interface DMA (Acesso Direto à Memória) para o computador MB-8000.
- Projeto Transmissão de Imagens (TRANS)

O objetivo do projeto Transmissão de Imagens é desenvolver técnicas e equipamentos para disseminação de imagens meteorológicas, através de canais telefônicos.

Basicamente, existem dois tipos de transmissão a considerar: a analógica e a digital. A transmissão analógica é realizada através de uma portadora de 2400 Hz, modulada em AM pelo sinal de vídeo. A transmissão digital normalmente requer o uso de MODEMS (Modulador-Demodulador) e alguma técnica de compressão de sinais. A taxa de bits neste caso pode variar desde 50 bits/segundo até o máximo de 9600 bits/segundo.

Neste projeto já foram pesquisadas duas técnicas de compressão, uma baseada na codificação Delta, e outra na codificação Delta/DPCM adaptativa. O equipamento para decodificação Delta/DPCM já foi construído, devendo ser submetido a testes de campo em futuro próximo.

A curto prazo, os principais objetivos deste projeto são:

- realizar testes de campo do "Descompressor de Imagens" (aquele que usa a técnica Delta/DPCM);
- instalar um minicomputador exclusivamente dedicado para transmissão de imagens, tanto digitais, quanto analógicas;

- desenvolver um equalizador de linha para melhorar a qualidade da transmissão analógica;
- prosseguir nos estudos das técnicas de compressão de imagens, de modo a abreviar o tempo de transmissão, reduzindo a custo de utilização de linhas telefônicas;
- desenvolver um sistema de transmissão de imagens, utilizando monitores de TV como elemento de visualização.
- Projeto Plataforma de Coleta de Dados (PCD)

O objetivo deste projeto é desenvolver sistemas de coleta de dados ambientais, utilizando o conceito de Plataforma de Coleta de Dados.

A Plataforma de Coleta de Dados é uma estação de telemetria de parâmetros ambientais, utilizada em conjunto com satélites artificiais. É um equipamento bastante simples, que ocupa um volume inferior a 10 litros e custa aproximadamente US\$ 5.000. A PCD é composta basicamente de um circuito de controle, de um transmissor e de uma antena. O circuito de controle serve para amostrar periodicamente os sensores, ordenar as informações e ligar o transmissor nos instantes apropriados. O consumo médio de potência de uma PCD é inferior a 500 miliwatts, o que permite operar com baterias e pequenos painéis solares.

Os satélites são usados como repetidores: recebem a mensagem enviada pela Plataforma de Coleta de Dados, realizam, em certos casos, um processamento do sinal e o retransmitem para as estações receptoras. A grande vantagem da utilização de satélite é a possibilidade de receber sinais de locais remotos, de difícil acesso, onde normalmente não existem os meios convencionais de telecomunicação. Além disso, ele permite cobrir, rapidamente, áreas extensas, inclusive sobre os oceanos, a custos relativamente baixos e não-relacionados com a distância a ser coberta.

Atualmente, existem dois sistemas de coleta de dados em operação nos satélites meteorológicos: o sistema ARGOS, a bordo dos satélites de órbita baixa (800 km), da série TIROS-N/NOAA, e o sistema GOES, a bordo dos satélites geostacionários (36.000 km), da série SMS/GOES.

A curto prazo, os principais objetivos deste projeto são:

- instalar a Estação Receptora de Plataforma de Coleta de Dados/GOES;
- prosseguir no desenvolvimento das Plataformas de Coleta de Dados, das interfaces, dos sensores e do Coletor de Dados em fita cassete;
- desenvolver e implantar um sistema de disseminação, aos usuários, dos dados transmitidos pelas Plataformas de Coleta de Dados.

#### 9.4 - PROGRAMA DE SERVIÇOS DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS

O objetivo geral do programa é testar, em condições operacionais, os equipamentos e sistemas desenvolvidos pelo programa de Instrumentação e Satélites Meteorológicos, realimentando informações aos projetistas e analistas sobre dificuldades e confiabilidade dos sistemas. Em segundo lugar, este Programa objetiva operacionalizar os instrumentos e sistemas desenvolvidos, fornecendo ao programa de Aplicações Meteorológicas imagens e dados necessários. Portanto, o Programa desempenha o papel de comprador, avaliador, operador, gerador e, finalmente, disseminador de dados.

O Programa é dos mais recentes na área de Meteorologia e foi criado face ao crescente custo e quantidade de sistemas desenvolvidos, nos últimos anos, pelo programa de Instrumentação e Satélites Meteorológicos.

Basicamente, o Programa não tem um componente de pesquisa, mas envolve-se fortemente com a alta tecnologia dos projetos em geral, uma vez que precisa operar equipamentos protótipos, sofisticados e diferentes em concepção e projeto. Deve, além disso, ser capaz de avaliar e sugerir melhorias de desempenho para o aperfeiçoamento dos produutos futuros.

No aspecto de coleta e disseminação, dentro do espírito de dado meteorológico, este deve ser coletado contínua e extensivamente, e, ao mesmo tempo, ser disseminado no mais curto intervalo de tempo.

#### 9.4.1 - CENTRO

O projeto CENTRO tem por finalidade centralizar todas as operações de recepção, processamento e disseminação de dados de satélites meteorológicos em Cachoeira Paulista, e concentrar recursos, esforços e facilidades de ampliação numa única área.

O centro deverá comportar as seguintes atividades e funções: receber os satélites geoestacionários da série SMS/GOES e METEOSAT, receber os satélites polares da série TIROS-N, receber dados das "Plataformas de Coleta de Dados" dos satélites geoestacionários e polares, dispor de equipamentos para processar e disseminar os dados dos satélites, e, finalmente dispor de área para treinamento de técnicos e engenheiros eletrônicos, além daquelas para meteorologias, usuários dos dados coletados.

#### 9.4.2 - OPERAÇÃO SMS/GOES

A finalidade deste projeto é operar a estação de recepção e processamento de satélites meteorológicos do tipo geoestacionário, seja os da série SMS/GOES, seja, futuramente, os da série METEOSAT, de forma operacional, confiável e contínua.



Imagens do canal infravermelho são produzidas regularmente a cada 3 horas, e do visível, duas vezes por dia, uma pela manhã e outra à tarde.

Existe a possibilidade de aquisição de imagens até a taxa máxima de uma imagem a cada meia hora, sendo o visível, imageada, e a infravermelha, gravada. No futuro, o sinal do canal visível será também gravado, permitindo o processamento em outros computadores e o arquivamento digital de toda a imagem ou de parte dela.

O atual sistema de processamento já dispõe de vários programas de aplicação, tais como; realce de temperaturas para aplicações em estudos (geadas, oceanografia, precipitação, natureza física das nuvens, etc.), setorização e ampliação de áreas de interesse específico.

O número dos programas desenvolvidos para os usuários tem crescido com o tempo e, entre eles, já se encontra em teste o de navegação que permitirá localizar, com alta precisão pontos sobre as imagens.

#### 9.4.3 - OPERAÇÃO TIROS

Este projeto visa operar a estação de recepção e processamento dos satélites da série TIROS, de órbita polar, de forma operacional, confiável e contínua, além de atender os usuários em geral, nas aquisições ou nos tratamentos específicos, relacionados com o potencial de informações coletados por este tipo de satélite. Para tal, é necessário não apenas modificar e ampliar os equipamentos disponíveis, mas principalmente solicitar o desenvolvimento de novos programas de aquisição e tratamento.

Atualmente rastreia-se a melhor passagem dos cruzamentos diurnos e noturnos, dos dois satélites operacionais da série, fornecendo duas imagens por passagem dos canais infravermelho e visível. Os dois canais restantes poderiam, opcionalmente, serem imageados, e no futuro imagear-se-ão os quatro canais.



#### 9.4.4 - OPERAÇÃO TRANSMISSÃO

O objetivo deste projeto é transmitir ou remeter dados e imagens recebidas com rapidez, qualidade e de forma permanente, possibilitando a sua pronta utilização nos serviços operacionais do governo e das empresas que delas necessitam.

Utilizam-se, atualmente, três tipos de disseminações de imagens: via correio, via fac-símile e por retransmissão dos sinais recebidos. Os sinais de baixa resolução, provenientes dos satélites estacionários - WEFAX (Weather Fac-Símile), são colocados nas linhas telefônicas privadas dos usuários.

O fac-símile modelo NEFAX, fabricado no Brasil, tem sido utilizado para transferir, ponto a ponto, imagens recebidas via interurbano, do tipo DDD. Neste caso, é necessário que o usuário compre este equipamento para usufruir deste serviço.

#### 9.5.5 - OPERAÇÃO APT/WEFAX

Este projeto tem por objetivo receber os sinais de baixa resolução dos satélites meteorológicos operacionais, tanto os polares da série TIROS N, que transmitem as imagens em VHF (APT), quanto os geostacionários, que transmitem os sinais em UHF, chamado WEFAX (Weather Fac-Símile).

Estas transmissões em baixa resolução têm por fim possibilitar aos usuários a captação de imagens dos satélites meteorológicos em tempo real e a baixo custo, utilizando pequenas estações de recepção e imageador, em papel do tipo fac-símile.

O projeto coloca à disposição dos usuários o sinal WEFAX, via telefone e em tempo real; além disso, coordena a construção, instalação e manutenção das estações WEFAX. Promove também a divulgação destas técnicas, através de exposições, cursos e treinamentos técnicos.

#### 9.4.6 - COMA-CENTRO METEOROLÓGICO DE PRIMEIRA CLASSE

O objetivo deste projeto é colher dados da estação meteorológica de primeira classe, em Cachoeira Paulista, em horários, quantidade e precisão estipulados, preenchendo os formulários adequados à sua digitalização computacional.

A estação foi montada com fins operacionais e didáticos, realizando medidas e registros contínuos e esporádicos, conforme solicitação dos pesquisadores do Departamento de Meteorologia do INPE.

Os instrumentos são aferidos e calibrados sistematicamente, e os métodos modernizados conforme as recomendações da "Organização Meteorológica Mundial".