

1. Classificação <i>INPE-COM.2/NTI</i>	2. Período <i>julho 1975</i>	4. Critério de Distribuição:  interna <input checked="" type="checkbox"/>  externa <input type="checkbox"/>
3. Palavras Chave (selecionadas pelo autor) <i>GRADE, METEOROLOGIA COM SATÉLITES</i>		
5. Relatório nº <i>INPE-697-NTI/021</i>	6. Data <i>Julho de 1975</i>	7. Revisado por - <i>Wolodymir Boruszewski</i> <i>Wolodymir Boruszewski</i>
8. Título e Sub-Título  <i>MAPEAMENTO DE PONTOS SOBRE A TERRA PARA IMAGENS OBTIDAS POR RADIÔMETRO DE VARREDURA A BORDO DE SATÉLITES</i>		9. Autorizado por -  <i>B. Clemesha</i> <i>B. R. Clemesha</i>
10. Setor <i>MET</i>	Código <i>4.01.03</i>	11. Nº de cópias  <i>6</i>
12. Autoria <i>Antonio Divino Moura</i>  <i>A. D. Moura</i>		14. Nº de páginas  <i>32</i>
		15. Preço
13. Assinatura Responsável		
16. Sumário/Notas  <i>Um método iterativo é desenvolvido para mapear pontos sobre a Terra dados por suas coordenadas, latitude e longitude, para imagens obtidas por satélites meteorológicos com radiômetro de varredura a bordo. São consideradas órbitas circulares, Terra esférica e desprezados os erros devidos ao apontamento do sensor. O método é simples e muito útil para mapear contornos de continentes e acidentes geográficos que aparecem nas fotos com frequência. A convergência é rápida e para um erro de <math>10^{-6}</math> rad em longitude a média é 3 a 4 iterações.</i>		
17. Observações		

## INDICE

Resumo. . . . .	ii
Lista de Símbolos . . . . .	iii
Lista de Figuras. . . . .	iv
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO . . . . .	1
CAPÍTULO II - SOLUÇÃO DE UM TRIÂNGULO ESFÉRICO. . . . .	3
CAPÍTULO III - MÉTODO ITERATIVO . . . . .	6
CAPÍTULO IV - TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS. . . . .	9
AGRADECIMENTOS. . . . .	12
REFERÊNCIAS . . . . .	13
APÊNDICE A - RELAÇÃO DE ASPECTO . . . . .	A.1
APÊNDICE B - LISTAGEM DO PROGRAMA EM FORTRAN IV . . . . .	B.1
APÊNDICE C - DISTRIBUIÇÃO DE ERROS . . . . .	C.1

## RESUMO

Um método iterativo é desenvolvido para mapear pontos sobre a Terra dados por suas coordenadas, latitude e longitude, para imagens obtidas por satélites meteorológicos com radiômetro de varredura a bordo. São consideradas órbitas circulares, Terra esférica e desprezados os erros devido ao apontamento do sensor. O método é simples e muito útil para mapear contornos de continentes e acidentes geográficos que aparecem nas fotos com frequência. A convergência é rápida e para um erro de  $10^{-6}$  rad em longitude a média é de 3 a 4 iterações.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	Raio da Terra ( $6,371 \times 10^6\text{m}$ )
$C, D$	Escalas para $x, y$
$\frac{C}{2D}$	Relação de aspecto
$H$	Altura do satélite
$i$	Inclinação da órbita do satélite
$t$	Tempo
$T_C$	Tempo correspondente à escala $C$ .
$T_S$	Período do satélite
$x, y$	Coordenadas cartesianas sobre a imagem correspondentes a um ponto sobre a Terra, dado por suas coordenadas Latitude ( $\lambda$ ) e Longitude ( $\phi$ ). A origem corresponde ao PSS de cruzamento com o Equador. $x$ é medido ao longo de uma linha de varredura
$\beta$	Ângulo que o lado $\gamma^*$ faz com o Equador
$\delta, \gamma, \gamma^*$	Lados de um triângulo esférico
$\lambda, \phi$	Latitude, longitude de um ponto considerado
$\xi$	Ângulo de varredura do radiômetro, medido a partir da reta que une o satélite ao ponto sub-satélite (PSS)
$\xi_{\max}$	Valor máximo de $\xi$ , quando a varredura corresponde a pontos de tangência sobre a Terra
$\phi_E$	Longitude de cruzamento com o Equador
$\phi_E'$	Longitude de intersecção da órbita projetada com o Equador
$\Omega$	Velocidade angular da Terra ( $7,292 \times 10^{-5} \text{rad sec}^{-1}$ )

LISTA DE FIGURAS

Fig. II.1	- Triângulos esféricos formados pelos pontos sub-satélites e o ponto P a ser mapeado. . . . .	3
Fig. III.1	- Triângulo esférico tendo a Terra girado o tempo t correspondente ao arco $\delta$ . . . . .	7
Fig. III.2	- Esquema mostrando o processo iterativo para mapear o ponto P . . . . .	8
Fig. IV.1	- Transformação de coordenadas (Lat.,Long.) $\rightarrow$ (x,y). . . . .	9
Fig. IV.2	- Relação entre o ângulo de varredura $\xi$ e o arco $\gamma$ sobre a Terra . . . . .	10
Fig. A.1	- Arcos e comprimentos elementares sobre a Terra e imagem, respectivamente . . . . .	A.1
Fig. C.1	- O satélite G(F) sobre o PSS 1 (2) varre o ponto P1 (P2) para um ângulo dado $\eta$ . . . . .	C.1
Fig. C.2	- Distribuição de erros versus $\eta$ (proporcional a abscissa x na imagem) para diversos ângulos $\alpha$ entre a foto F e a grade G para o satélite NOAA-3. . . . .	C.3
Fig. C.3	- Distribuição de erros versus ângulo $\alpha$ para $\eta$ ( $=42.97^0$ ) correspondente à mínima superposição no equador . . . . .	C.3

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Pontos sobre a Terra, dados por suas coordenadas latitude e longitude, são mapeados para imagens obtidas por radiômetro de varredura a bordo de satélites meteorológicos. O método iterativo aqui desenvolvido é bastante simples e muito útil para o traçado de contornos de continentes e acidentes geográficos que aparecem frequentemente nas fotografias obtidas por satélites meteorológicos.

Em busca de simplicidade, considera-se:

- a) Terra esférica,
- b) Órbita do satélite circular, e
- c) Erros de apontamentos do sensor desprezíveis.

Algumas destas restrições podem ser removidas, em se considerando órbitas elípticas e erros de guinada, sem perder a simplicidade e eficiência do método apresentado.

Dos parâmetros orbitais do satélite é necessário conhecer:

- 1) Período,

- 2) Inclinação da órbita, e
- 3) Altura.

A dimensão da fotografia medida perpendicularmente à linha correspondente aos pontos sub-satélite (PSS) é conhecida. Quanto à outra dimensão da fotografia (ao longo da linha correspondente aos PSS) requer-se que esteja escalonada de tal forma que a transformação seja conforme para elementos sobre o PSS. É necessário ainda saber a longitude do PSS correspondente ao cruzamento com o equador.

Aconselha-se ao leitor que tome conhecimento do trabalho de Santana et al. (1974), no qual o assunto é exposto de modo bem didático e levando em conta os efeitos devido aos erros de apontamento.

No Capítulo II mostra-se a solução de um triângulo esférico e no Capítulo III um método iterativo é desenvolvido, levando-se em conta a rotação da Terra. O Capítulo IV mostra a transformação de coordenadas de (Lat., Long.) do ponto sobre a Terra para um ponto (x,y) na imagem. Uma relação de aspecto é definida e usada para escalonar x e y.

No Apêndice A desenvolve-se a relação de aspecto. No Apêndice B aparece a listagem de um programa em FORTRAN IV usado para os cálculos. No Apêndice C é mostrada a distribuição de erros devido a diferença de longitudes de cruzamento com o equador da imagem e da grade usada.

CAPÍTULO II

SOLUÇÃO DE UM TRIÂNGULO ESFÉRICO

Considere o triângulo esférico formado pelos seguintes pontos: 1) PSS correspondente ao cruzamento com o equador; 2) o ponto P que se quer mapear; 3) o PSS na ocasião de visada do ponto P, se a Terra não girasse. A Figura II.1 mostra este triângulo com os ângulos e lados indicados.

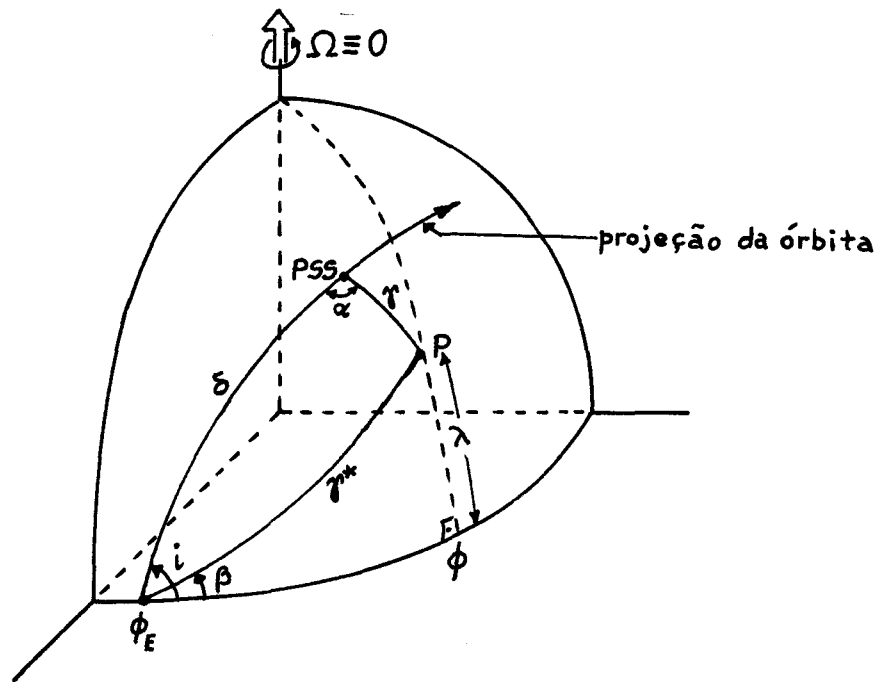


Fig. II.1 - Triângulos esféricos formados pelos pontos sub-satélite e o ponto P a ser mapeado.



O triângulo (P,  $\phi$ ,  $\phi_E$ ) nos dá:

$$\text{Lei dos cosenos: } \cos \gamma^* = \cos \lambda \cos (\phi - \phi_E) \quad (1)$$

$$\text{Lei dos senos: } \sin \beta = \sin \lambda / \sin \gamma^* \quad (2)$$

Das fórmulas (1) e (2) calculam-se o lado  $\gamma^*$  e o ângulo  $\beta$ .

Por outro lado, o triângulo ( $\phi_E$ , PSS, P) nos dá:

$$\text{Lei dos senos: } \sin \gamma = \sin \gamma^* \sin (i - \beta) / \sin \alpha \quad (3)$$

$$\text{Lei dos cosenos: } \cos \gamma^* = \cos \gamma \cos \delta + \sin \gamma \sin \delta \cos \alpha \quad (4)$$

onde  $\alpha = \frac{\pi}{2} + \hat{\text{erro de guinada}}$ . Usando-se a fórmula (3) calcula-se  $\gamma$  dado o erro de guinada. A fórmula (4) é então usada para calcular  $\delta$ . No caso do erro de guinada ser considerado igual a zero (é o que consideramos a partir deste ponto), a fórmula (4) é simplificada para:

$$\cos \delta = \cos \gamma^* / \cos \gamma \quad (5)$$

Da fórmula (5) obtém-se o arco  $\delta$  o qual é uma função do tempo  $\delta = \delta(t)$  que o satélite leva para percorrer os dois pontos sub-satélite em consideração. No caso de órbitas circulares (é o caso considerado aqui), o arco  $\delta$  é uma função linear do tempo.

$$\delta = 2\pi t/T_s \quad (\text{II.6})$$

onde  $t$  é o tempo para percorrer o arco  $\delta$  e  $T_s$  é o período do satélite.

### CAPÍTULO III

#### MÉTODO ITERATIVO

A solução do triângulo esférico descrita no Capítulo II pressupõe que a Terra não gira enquanto o satélite percorre os dois PSS. A solução de nosso problema requer a resposta à seguinte pergunta: quando é que o sensor do satélite varre o ponto P? Este tempo é proporcional à coordenada, na fotografia, ao longo da linha dos PSS.

O método iterativo proposto consiste em, uma vez se calculando  $\delta$  pela fórmula II.5 e o tempo  $t$  pela fórmula II.6, fazer a Terra girar o correspondente a este tempo. A projeção da órbita do satélite sobre a Terra neste tempo interceptará o equador numa longitude  $\phi_E'$  diferente da longitude ( $\phi_E$ ) de cruzamento com o equador. A Figura III.1 mostra este deslocamento.

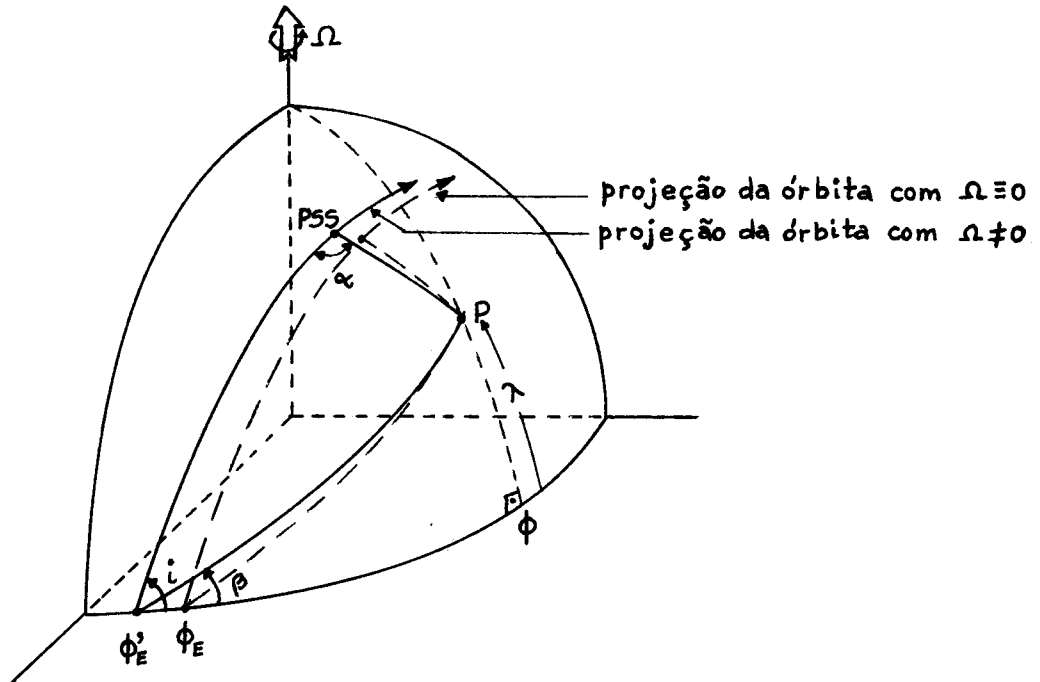


Fig. III.1 - Triângulo esférico tendo a Terra girado o tempo  $t$  correspondente ao arco  $\delta$ .

A longitude ( $\phi_E'$ ) em que a projeção da órbita do satélite no tempo  $t$  intercepta o equador é dada por:

$$\phi_E' = \phi_E - \Omega t \quad (\text{III.1})$$

O método iterativo decorre do cálculo de  $\phi_E'$  e da solução do novo triângulo (ver Fig. III.1) usando-se as fórmulas do Capítulo II. Com o novo tempo achado, calcula-se um novo valor de  $\phi_E'$  e a iteração é interrompida quando sucessivos valores de  $\phi_E'$  difiram em valor absoluto de um erro pré-estabelecido.

Esquemáticamente temos:

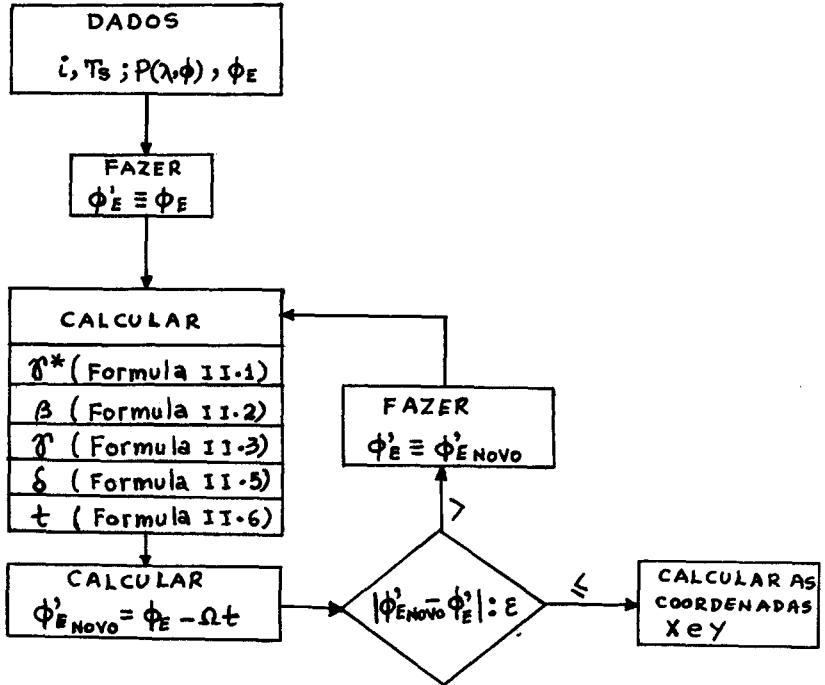


Fig. III.2 - Esquema mostrando o processo iterativo para mapear o ponto P.

CAPÍTULO IV

TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS

As coordenadas  $(x,y)$  de um ponto na imagem, correspondente ao ponto P (Lat., Long.) sobre a terra são calculadas considerando-se a Fig. IV.1.

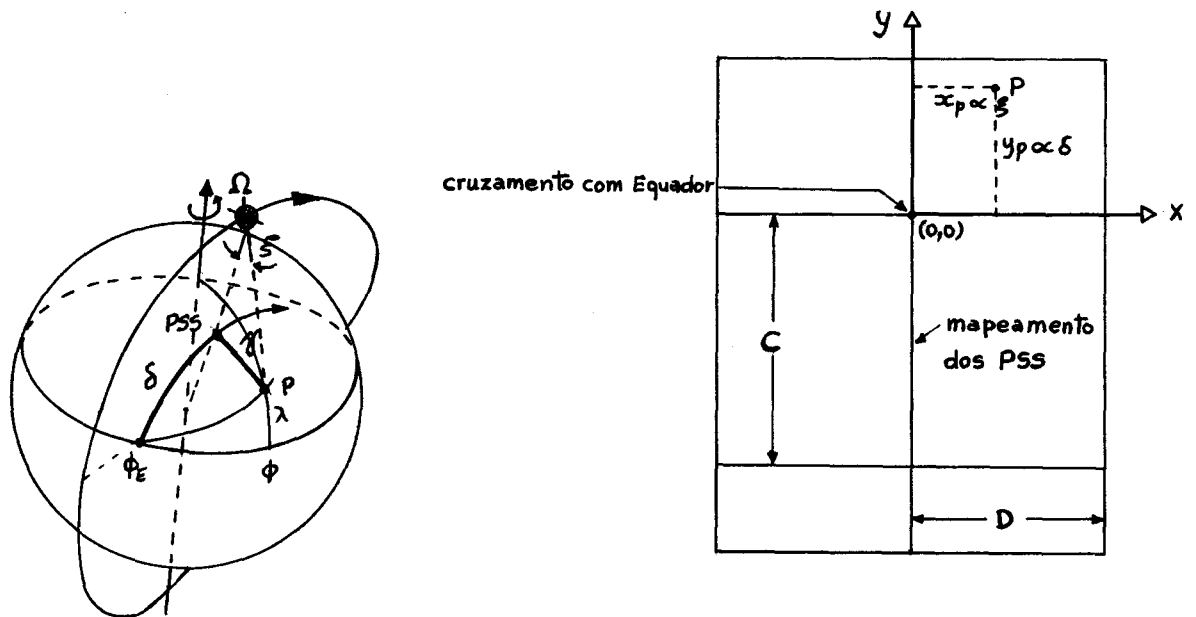


Fig. IV.1 - Transformação de coordenadas (Lat., Long.)  $\rightarrow$   $(x,y)$ .

A coordenada x é proporcional ao ângulo de varredura  $\epsilon$ :

$$x = D\epsilon/\epsilon_{\max} \tag{IV.1}$$

O ângulo  $\xi$  por sua vez é relacionado com o arco  $\gamma$  (vide Fig. IV.2) e então a fórmula (IV.1) se modifica para:

$$x = D \arctan \left( \frac{\text{sen} \gamma}{\frac{H}{a} + 1 - \text{cos} \gamma} \right) / \xi_{\max} \quad (\text{IV.2})$$

onde

$$\xi_{\max} = \arcsen \left( \frac{1}{1 + \frac{H}{a}} \right) \quad (\text{IV.3})$$

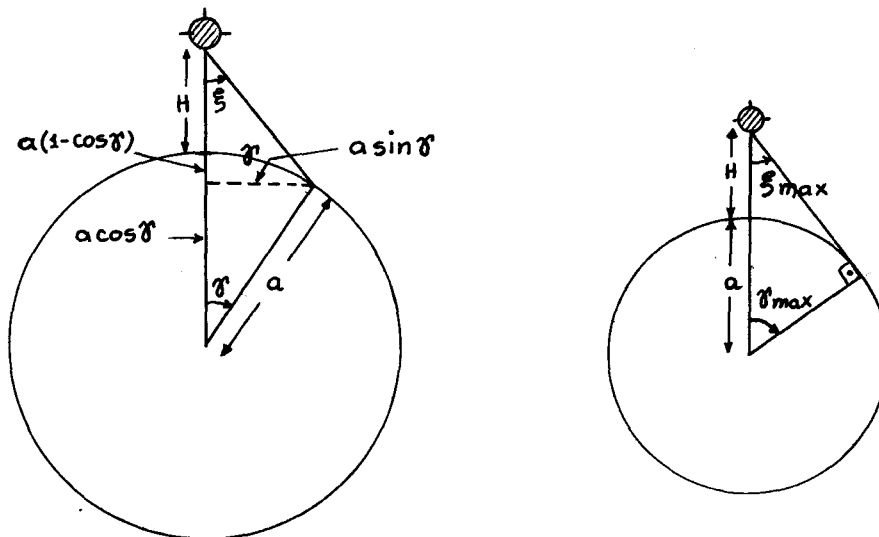


Fig. IV.2 - Relação entre o ângulo de varredura  $\xi$  e o arco  $\gamma$  sobre a Terra.

A coordenada  $y$  é proporcional ao tempo que o satélite le va para ir desde o cruzamento com o equador ( $y \equiv 0$ ) até o PSS.

$$y = C t / T_c \quad (\text{IV.4})$$

onde  $C$  é uma dimensão correspondente ao tempo  $T_c$  pré-estabelecido na foto (vide Figura IV.1). A dimensão  $D$  corresponde à metade da dimensão da foto medida perpendicularmente à linha correspondente aos PSS.

É conveniente definir uma RELAÇÃO DE ASPECTO  $\frac{C}{2D}$  (vide Santana et al, 1974) ligando as escalas  $C$  e  $D$  de tal forma que a transformação seja conforme para elementos sobre o PSS, i.e., que figuras elementares sobre o PSS (e.g. um quadrado) apareçam com a mesma forma na imagem.

Esta relação de aspecto é dada por (vide Apêndice A):

$$\frac{C}{2D} = \frac{T_c}{T_s} \frac{a}{H} \frac{\pi}{\epsilon_{\max}} \quad (IV.5)$$

Relacionando o tempo  $t$  com o arco  $\delta$  e a escala  $C$  com  $D$  pela relação (IV.5), a fórmula (IV.4) fica:

$$y = D \frac{a}{H} \frac{\delta}{\epsilon_{\max}} \quad (IV.6)$$

**CONCLUINDO:** Dado o ponto  $P$  (Lat., Long.), calcula-se os arcos  $\delta$  e  $\gamma$  resolvendo um triângulo esférico por iteração. Calcula-se  $x$  e  $y$  por meio das fórmulas (IV.2) e (IV.6).

**OBSERVAÇÃO:** Para órbitas elípticas, a altura  $H$  é função das coordenadas do PSS, ou seja: do tempo  $t$ .



AGRADECIMENTOS

O autor expressa sua gratidão ao Sr. José Antonio Gonçalves Pereira pela orientação no uso da plotter; ao Sr. José Luiz Aguirre pela ajuda no uso do Datagrid para digitalizar o contorno da América do Sul; ao Sr. Wolodymir Boruszewski pela ajuda no estudo de erros e confecção de grades.

Ao Dr. Luiz Gylvan Meira Filho pelo entusiasmo e discussões que levaram o presente trabalho a uma forma final. À Sra. Sueli Aparecida de Godoi Guratti por pacientemente datilografar este manuscrito.

REFERÊNCIAS

SANTANA, P.H.A., OLIVEIRA, J. R. de, MEIRA FILHO, L. G. - *Gradeamento de imagens produzidas por radiômetros de varredura a bordo de satélites*. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1974 (INPE-558-RI/251).

APÊNDICE A

RELAÇÃO DE ASPECTO

A arcs elementares ( $\delta\gamma_x, \delta\gamma_y$ ) sobre o PSS correspondem comprimentos elementares ( $\delta_x, \delta_y$ ) na imagem (ver Figura A.1)

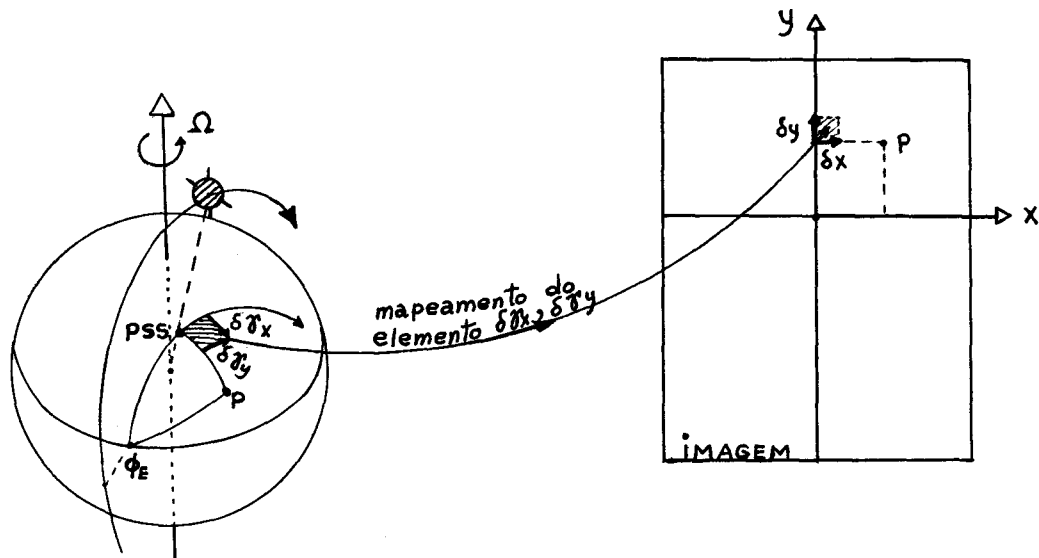


Fig. A.1 - Arcos e comprimentos elementares sobre a Terra e imagem, respectivamente.

Então,

$$\delta_x = D \frac{\delta\xi}{\xi_{\max}} \sim D \frac{a}{H} \frac{\delta\gamma_x}{\xi_{\max}} \quad (\text{A.1})$$

$$\delta_y = C \frac{\delta t}{T_c} = C \frac{T_s}{T_c} \frac{\delta\gamma_y}{2\pi} \quad (\text{A.2})$$

Dividindo (A.1) por (A.2) obtêm-se:

$$\frac{\delta_x}{\delta_y} = \frac{D}{C} \frac{T_C}{T_s} \frac{a}{H} \frac{2}{\epsilon_{\max}} \frac{\delta\gamma_x}{\delta\gamma_y} \quad (\text{A.3})$$

Requer-se que para  $\delta\gamma_y = \delta\gamma_x$  sobre o PSS, tenha-se  $\delta_x = \delta_y$  na imagem. Então

$$\boxed{\frac{C}{2D} = \frac{T_C}{T_s} \frac{a}{H} \frac{\pi}{\epsilon_{\max}}} \quad (\text{A.4})$$

Esta é a relação de aspecto definida como "ideal" para as fotografias.

$$\frac{C}{2D} = 1.216 \quad \text{para o NOAA-3}$$

$$\frac{C}{2D} = 1.261 \quad \text{para o NOAA-4}$$

APÊNDICE B

LISTAGEM DO PROGRAMA EM FORTRAN IV

```

C *****
C MAPPING OF POINTS ON EARTH AS SEEN FROM SCANNING RADIOMETER ON BOARD OF
C METEOROLOGICAL SATELLITE, BY ITERATIVE TECHNIQUE.
C ASSUMED : SPHERICAL EARTH , CIRCULAR ORBIT , NO SENSOR ERRORS(PITCH,
C ROLL,YAW).
C GIVEN : SATELLITE ORBIT INCLINATION , PERIOD , HEIGHT, LONGITUDE OF
C EQUATORIAL CROSSING.
C PROGRAMER : ANTONIO DIVINO MOURA INPE/MESA FEB-MAR 1975
C *****

```

FORMAT

```

FILE 1= PLOT2,UNIT=TAPE
FILE 2=XNOVA,UNIT=TAPE,RECORD=800,SAVE=300
FILE 6=SAIDA
REAL INC,LAT,LON,LATLON
LOGICAL SULNOR,INSIDE
DIMENSION LATLON(800)
DIMENSION GLAT(17,17),GLON(17,17)
COMMON /PASS/PI,PI02,OMEGA,INC,PHIE,EQCRO,INSIDE,HOA,CONV,GMAX,DX,

```

```

UDY
DATA A/6.371E+03/,OMEGA/7.292E-05/,PI/3.1415927/
A = EARTH'S MEAN RADIUS IN KM
OMEGA = EARTH'S ANGULAR VELOCITY IN SEC-1
PI02=PI*0.5

```

READ(5,100) NAME,INC,PER,HIGHT,PHIE,D,C,SULNOR,MGB

```

INC = SATELLITE ORBIT INCLINATION IN DEGREES
PER = PERIOD IN MINUTES
HIGHT = HEIGHT IN KM
PHIE = LONGITUDE OF EQUATORIAL CROSSING IN DEGREES
D = HALF HORIZONTAL GRID DIMENSION
IF D EQUAL ZERO GET THE IDEAL ASPECT RATIO USING C
C = VERTICAL DIMENSION OF GRID CORRESPONDING TO 10 MINUTES
IF C EQUAL ZERO GET THE IDEAL ASPECT RATIO USING D
SULNOR= CONTROL VARIABLE
IF SULNOR = T : SOUTH TO NORTH EQUATOR CROSSINGS
IF SULNOR = F : NORTH TO SOUTH EQUATOR CROSSINGS
MGB = 1 IF ONLY MAP IS REQUIRED
2 IF ONLY GRID IS REQUIRED
NOT 1 NEITHER 2 IF BOTH MAP AND GRID ARE REQUIRED

```

```

WRITE(6,900) NAME,INC,PER,HIGHT,PHIE,D,C
PHIE=PHIE
HOA=HIGHT/A
ZMAX=ARSIN(1./(1.+HOA))
QMAX=PIU2-ZMAX
CO2D=10.*PI/(PER+HOA*ZMAX)
IF(C.EQ.0..OR,D.EQ.0.) WRITE(6,905) CO2D
IF(SULNOR) WRITE(6,901)
IF(SULNOR) GO TO 10
WRITE(6,902)
OMEGA=-OMEGA
INC=180.-INC
10 PI180=PI/180.

```

```
C      UNITS CONVERSION
INC=INC*PI180
PER=PER*60.
PHIE=PHIE*PI180
CONV=0.5*PER/PI
IF(0.EQ.0.) D=0.5*C/CO2D
DX=D/ZMAX
IF(C.EQ.0.) C=2.*D*CO2D
DY=C*CONV/600.
SINI=SIN(INC)
C      LINES CORRESPONDING TO MINIMUM IMAGE OVERLAP
ZETA=INC-PI02
IF(SULNUR) ZETA=-ZETA
DELFI=0.5*PER*OMEGA
80 SINETA=SIN(ZETA)*SIN(DELFI)
ETA=ARSIN(SINETA)
COSGAM=COS(DELFI)/COS(ETA)
GAMA=ARCOS(COSGAM)
SINZET=SINI*SINETA/SIN(GAMA)
DEL=0.5*(PI+ETA)*PER*OMEGA/PI
IF(ABS(DEL-DELFI).LT.1.0E-05) GO TO 85
ZETA=ARSIN(SINZET)
DELFI=DEL
GO TO 80
85 DEL=SIN(GAMA)/(HOA+1.-COSGAM)
DEL=DX*ATAN(DEL)
WRITE(6,906) DEL
C
EQCRD=PHIE
C
C***** DEFINE PLOTTER ORIGIN
CALL PLUT(25.,-11.,-3)
CALL PLUT(0.,5.5,-3)
IPEN=3
C
C      MAPPING OF CONTINENT
C
C      IF(MGB.EQ.2) GO TO 999
111 READ(2,DATA=999,END=999) LATLON
      READ DATA OF CONTINENTAL CONTOUR GIVEN IN LAT. AND LONG. IN TAP E
DO 400 J=1,799,2
IF(LATLON(J).EQ.999.99) GO TO 999
LAT=LATLON(J)*PI180
LON=LATLON(J+1)*PI180
CALL GRID(LAT,LON,X,Y,ITER)
IF(INSIDE) GO TO 388
WRITE(6,904) LATLON(J),LATLON(J+1)
IPEN=3
GO TO 400
388 WRITE(6,903) LATLON(J),LATLON(J+1),X,Y,ITER
C***** PLOTTING X AND Y
CALL PLUT(Y,-X,IPEN)
IPEN=2
400 CONTINUE
GO TO 111
999 CONTINUE
C
C      PLOTTING B R A S I L I A
CALL GRID(-.2758,-.8367,X,Y,ITER)
IF(.NOT.INSIDE) GO TO 420
X1=0.06
CALL PLUT(Y-X1,-X-X1,3)
CALL PLUT(Y+X1,-X+X1,3)
```

```
CALL PLUT(Y+X1,-X-X1,2)
CALL PLUT(Y-X1,-X+X1,2)
```

- B.4 -

420 CONTINUE

C  
C  
C

GRID OF LATITUDE AND LONGITUDE FROM 5 TO 5 DEGREES

```
IF(MGB,EQ.1) GO TO 1000
ALATI=25.
IPHIE=5*(IPHIE/5)
ALONI=-60,+IPHIE
IF(SULNUR) ALONI=-30,+IPHIE
DO 500 I=1,17,1
IPEN=3
LAT=ALATI-5.*I
LAT=LAT*PI180
DO 500 J=1,17,1
LON=ALONI+J*5.
LON=LON*PI180
CALL GRID(LAT,LON,X,Y,ITER)
IF(.NOT.INSIDE) GO TO 450
```

```
GLAT(I,J)=X
GLON(I,J)=Y
GO TO 500
450 GLAT(I,J)=999.
```

```
500 CONTINUE
INSIDE=.TRUE.
DO 600 I=1,17,1
IPEN=3
INSIDE=.NOT.INSIDE
DO 600 J=1,17,1
N=J
IF(INSIDE) N=18-J
IF(GLAT(I,N).EQ.999.) GO TO 550
X=GLAT(I,N)
Y=GLON(I,N)
```

C\*\*\*\*\* PLOTTING LINES OF CONSTANT LATITUDE

```
CALL PLUT(Y,-X,IPEN)
IPEN=2
GO TO 600
```

```
550 IPEN=3
600 CONTINUE
INSIDE=.FALSE.
DO 700 J=1,17,1
IPEN=3
INSIDE=.NOT.INSIDE
DO 700 I=1,17,1
N=I
IF(INSIDE) N=18-I
IF(GLAT(N,J).EQ.999.) GO TO 650
X=GLAT(N,J)
Y=GLON(N,J)
```

C\*\*\*\*\* PLOTTING LINES OF CONSTANT LONGITUDE

```
CALL PLUT(Y,-X,IPEN)
IPEN=2
GO TO 700
```

```
650 IPEN=3
700 CONTINUE
```

C  
1000 CONTINUE

C\*\*\*\*\* PLOTTING CONTOUR OF GRID

```
Y=C
X=0.5*Y
X1=2.*Y
```



```
X2=Y+X
CALL PLUT(0.,-D,3)
CALL PLUT(X,-D,2)
CALL PLUT(X,D,2)
CALL PLUT(-X1,D,2)
CALL PLUT(-X1,-D,2)
CALL PLUT(0.,-D,2)
CALL PLUT(0.,D,2)
CALL PLUT(-X,D,2)
CALL PLUT(-X,-D,2)
CALL PLUT(-Y,-D,2)
CALL PLUT(-Y,D,2)
CALL PLUT(-X2,D,2)
CALL PLUT(-X2,-D,2)
CALL PLUT(-X1,-D,2)
CALL PLUT(-X1,0.,2)
CALL PLUT(X,0.,2)
```

C\*\*\*\*\* PLOTTING LINES OF MINIMUM IMAGE OVERLAP

```
CALL PLUT(X,DEL,2)
CALL PLUT(-X1,DEL,2)
CALL PLUT(-X1,-DEL,2)
CALL PLUT(X,-DEL,2)
CALL PLUT(0.,0.01,3)
CALL PLUT(0.,0.,999)
```

C

```
100 FORMAT(A6,6F10.3,L1,I1)
900 FORMAT(/,≥ SATELLITE ≥,A6,/,≥ INCLINATION ≥,F8.3,≥ DEGREES≥,/,
1≥ PERIOD ≥,F9.4,≥ MINUTES≥,/,≥ HEIGHT ≥,F8.2,≥ KM≥,/,≥ LONGITUDE 0
2F EQUATOR CROSSING ≥,F8.2,≥ DEGREES≥,/,≥ HALF DIMENSION OF GRID ≥,
3F8.2,≥ IN≥,/,≥ VERTICAL DIMENSION (10 MIN) ≥,F8.2,≥ IN≥,/)
901 FORMAT(≥ SOUTH TO NORTH EQUATOR CROSSING≥,/,≥ LATITUDE LONGITUDE
1 X(IN) Y(IN) ITERATIONS≥,/)
902 FORMAT(≥ NORTH TO SOUTH EQUATOR CROSSING≥,/,≥ LATITUDE LONGITUDE
1 X(IN) Y(IN) ITERATIONS≥,/)
903 FORMAT(4F10.3,I10)
904 FORMAT(/,≥ POINT LAT= ≥F7.2,≥ LON= ≥,F8.2,≥ IS OUT OF GRID≥,/)
905 FORMAT(≥ IDEAL ASPECT RATIO OF ≥,F8.3,≥ IS USED≥,/)
906 FORMAT(/,≥ LINES OF MINIMUM OVERLAP ARE ≥,F8.3,≥ INCHES AWAY FROM
1CENTRAL LINE≥,/)
STOP
END
```

FORMAT

FORMAT

002:0170:1 IS THE LOCATION FOR EXCEPTIONAL ACTION ON THE I/O STATEMENT AT C

SE

SUBROUTINE GRID(LAT,LON,X,Y,ITER)

\*\*\*\*\*  
 SUBROUTINE GRID CALCULATES THE TRANSFORMATION OF COORDINATES FROM  
 LATITUDE AND LONGITUDE TO Y AND X OF POINTS IN IMAGES OBTAINED  
 BY SCANNING RADIOMETER ON BOARD OF METEOROLOGICAL SATELLITES  
 BY MEANS OF ITERATIVE TECHNIQUE  
 AUTHOR : ANTONIO DIVINO MOURA TNP/MESE FEB-MAR 1975  
 \*\*\*\*\*

REAL INC,LAT,LON  
 LOGICAL INSIDE  
 COMMON /PASS/PI,PI02,OMEGA,INC,PHIE,EQCRO,INSIDE,HOA,CONV,GMAX,DX,  
 UDY

INSIDE=.TRUE.  
 SINLA=SIN(LAT)  
 COSLA=COS(LAT)  
 ITER=0

222 ITER=ITER+1  
 IF(LON.EQ.EQCRO) GO TO 244  
 COSGS=COSLA\*COS(LON-EQCRO)  
 X2=SINLA  
 X1=SQRT(1.-COSGS\*COSGS)  
 IF(X1.EQ.0.) GO TO 233  
 X2=X2/X1

233 BETA=ARSIN(X2)  
 IF(LON.LT.EQCRO) BETA=PI-BETA  
 GO TO 255

244 BETA=SIGN(LAT,PI02)  
 X1=SINLA  
 COSGS=COSLA

255 X2=INC-BETA  
 SINGO=X1\*SIN(X2)

C GAMA0 DETERMINES THE X-COORDINATE  
 GAMA0=AKSIN(SINGO)  
 COSGO=COS(GAMA0)  
 X1=COSGS/COSGO  
 DELTA=ARCOS(X1)

; DELTA DETERMINES THE Y-COORDINATE  
 X1=INC+PI02  
 X2=INC-PI02  
 IF(BETA.GT.X1.OR.BETA.LT.X2) DELTA = -DELTA  
 ; CORRECTED EQUATOR INTERSECTION  
 CRUZ=PHIE-OMEGA\*DELTA\*CONV  
 IF(ABS(CRUZ-EQCRO).LT.1.0E-05) GO TO 333  
 EQCRO=CRUZ  
 GO TO 222

333 CONTINUE  
 IF(ABS(GAMA0).GT.GMAX) INSIDE=.FALSE.  
 X=SINGO/(HOA+1.-COSGO)  
 X=DX\*ATAN(X)  
 Y=DY\*DELTA  
 RETURN  
 END

SATELLITE NOAA-3  
INCLINATION 102.037 DEGREES  
PERIOD 116.0857 MINUTES  
HEIGHT 1504.64 KM  
LONGITUDE OF EQUATOR CROSSING -46.00 DEGREES  
HALF DIMENSION OF GRID 0.00 IN  
VERTICAL DIMENSION (10 MIN) 9.45 IN

IDEAL ASPECT RATIO OF 1.216 IS USED

NORTH TO SOUTH EQUATOR CROSSING

LATITUDE	LONGITUDE	X(IN)	Y(IN)	ITERATIONS
----------	-----------	-------	-------	------------

LINES OF MINIMUM OVERLAP ARE 3.103 INCHES AWAY FROM CENTRAL LINE

4.350	-51.538	-1.812	0.936	3
4.033	-51.714	-1.831	0.831	2
3.782	-52.033	-1.884	0.738	2
3.957	-51.876	-1.861	0.799	2
4.042	-51.747	-1.838	0.832	2
4.205	-51.682	-1.835	0.884	2
4.358	-51.687	-1.845	0.929	2
4.563	-51.917	-1.907	0.976	2
4.334	-51.909	-1.891	0.908	2
4.273	-52.107	-1.930	0.878	2
4.369	-51.982	-1.909	0.914	2
4.589	-52.023	-1.931	0.977	2
4.855	-52.192	-1.982	1.045	2
5.191	-52.595	-2.083	1.121	2
5.407	-52.979	-2.170	1.162	2
5.629	-53.593	-2.294	1.191	2
5.765	-53.769	-2.333	1.221	2
5.766	-53.960	-2.366	1.210	2
5.704	-54.025	-2.374	1.188	2
5.567	-54.048	-2.371	1.146	2
5.767	-54.047	-2.381	1.205	2
5.851	-54.076	-2.390	1.229	2
5.973	-54.692	-2.498	1.229	1
6.005	-55.221	-2.582	1.207	2
5.876	-55.142	-2.564	1.173	2
5.932	-55.238	-2.581	1.184	2
5.996	-55.387	-2.606	1.195	2
6.000	-55.714	-2.655	1.177	2
5.885	-55.963	-2.686	1.128	2
5.812	-55.996	-2.688	1.104	2
5.985	-56.963	-2.826	1.099	2
5.936	-57.083	-2.839	1.077	2
5.580	-57.185	-2.839	0.964	2
5.311	-57.355	-2.851	0.873	2
5.604	-57.235	-2.847	0.968	2
5.958	-57.162	-2.850	1.079	2
6.148	-57.211	-2.863	1.134	2
6.359	-57.434	-2.898	1.185	2
6.345	-57.523	-2.908	1.175	2
6.204	-57.553	-2.907	1.131	2
6.204	-57.553	-2.907	1.131	1

A grade mostrada a seguir é uma cópia melhorada (desenhada a nanquim em papel vegetal) da saída em plotter.

Para o traçado do mapa da América do Sul, Brasil e divisões dos Estados foram utilizados cerca de 3.000 pontos de um mapa na escala 1:8.000.000 digitalizados através de um Datagrid. Estes pontos dados por suas coordenadas geográficas (lat. e long.) são fornecidos ao programa que os transforma nas coordenadas x e y da imagem.

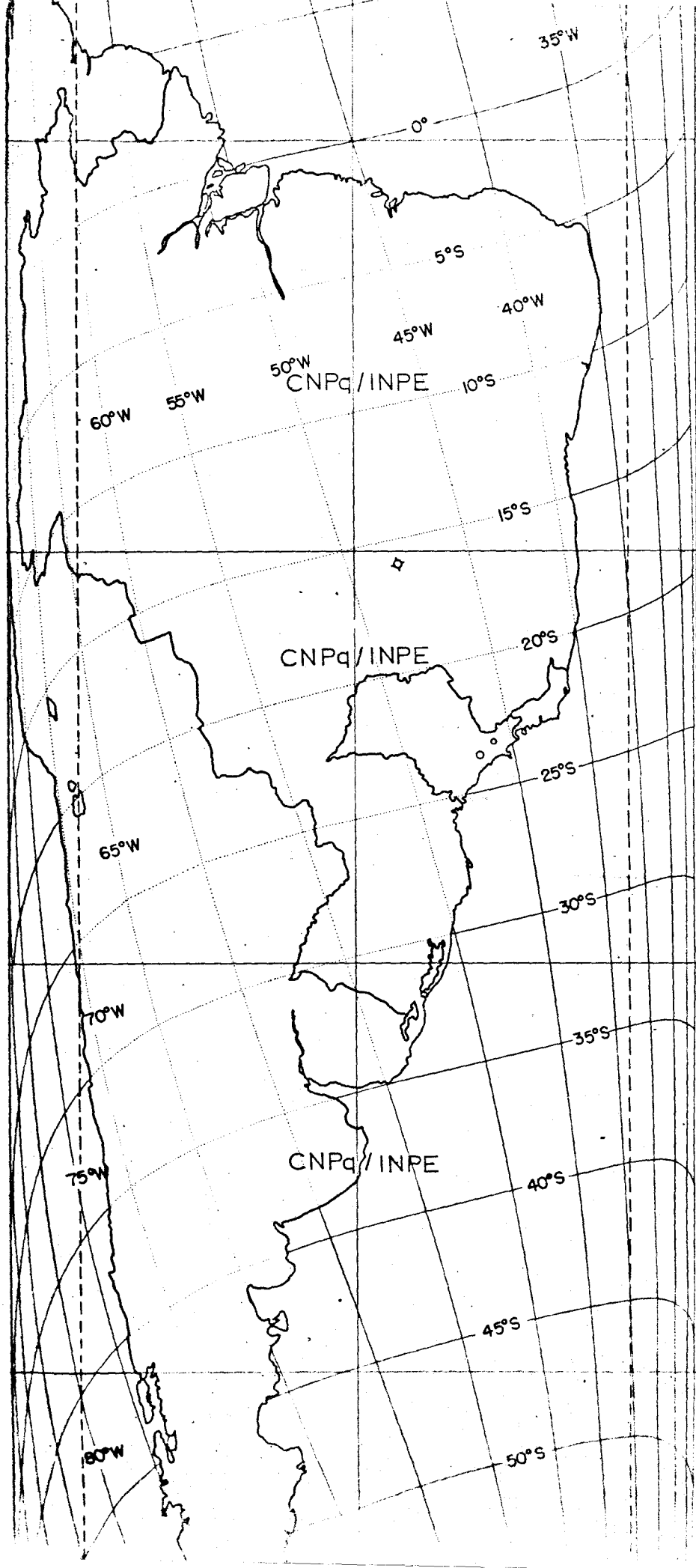
Na grade podemos notar o Lago Titicaca e as salinas de Uyuni os quais aparecem frequentemente nas imagens obtidas por satélites. Estas localizações geográficas (além de outras) muito auxiliam no controle de qualidade do gradeamento das fotos.



NOAA-3  
DIURNO  
45°W

NORTE

SUL



Projeto MESA  
Gradeamento APT-SR  
Satélite NOAA-3 DIURNO  
Altura de 10 min. 120 mm  
Largura da imagem: 99 mm  
Longitude de cruzamento: 45°W

APÊNDICE C

DISTRIBUIÇÃO DE ERROS

Quando apomos os acidentes geográficos sobre o reticulado de latitudes e longitudes constantes, este reticulado perde a simetria em longitudes (veja Santana et al., 1974). Este é o nosso caso.

Se a opção for por uma "biblioteca de grades" (ao invés de se gradear imagem por imagem "sob medida") faz-se necessário conhecer a distribuição de erros devido ao uso de uma grade com uma certa longitude de cruzamento com o equador sobre uma imagem com uma diferença de longitude de cruzamento com o equador.

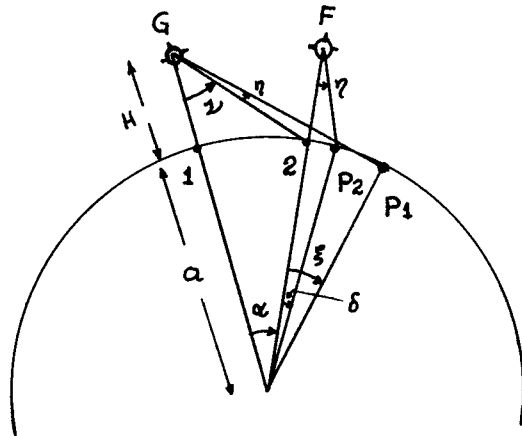


Fig. C.1 - O satélite G(F) sobre o PSS 1 (2) varre o ponto P1 (P2) para um ângulo dado  $\alpha$ .

Da Figura C.1, obtemos:

$$\tan v = \frac{\sin \alpha}{\frac{H}{a} + 1 - \cos \alpha} \quad (C.1)$$

$$\tan \eta = \frac{\sin \delta}{\frac{H}{a} + 1 - \cos \delta} \quad (C.2)$$

$$\tan(v+\eta) = \frac{\sin(\alpha+\xi)}{\frac{H}{a} + 1 - \cos(\alpha+\xi)} \quad (C.3)$$

Então, dados  $\alpha$  e  $\delta$  calculamos  $v$  e  $\eta$  e finalmente  $\xi$ .

O erro  $\bar{\epsilon}$  é dado pela diferença  $\xi - \delta$  e é idênticamente nulo para  $\eta=0$  por escolha.

A Figura C.2 mostra a distribuição de erros em função de  $\eta$  para valores fixos de  $\alpha$ . A Figura C.3 mostra esta distribuição em função de  $\alpha$  para um valor fixo de  $\eta$ , correspondente ao ângulo de mínima superposição.

A Figura C.2 mostra um achatamento dos erros no centro da imagem, tornando-se elevados nas bordas das imagens. A Figura C.3 é então utilizada para determinar o erro de corte na linha de mínima superposição.

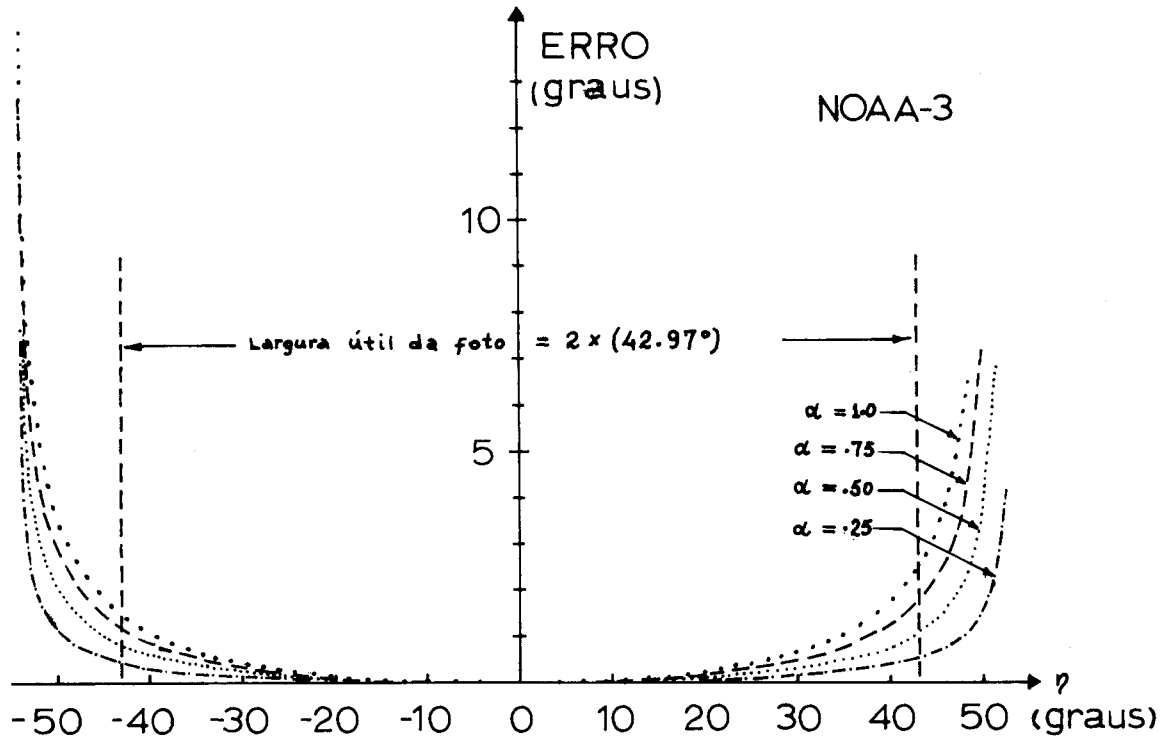


Fig. C.2 - Distribuição de erros versus  $\eta$  (proporcional a abscissa x na imagem) para diversos ângulos  $\alpha$  entre a foto F e a grade G para o satélite NOAA-3.

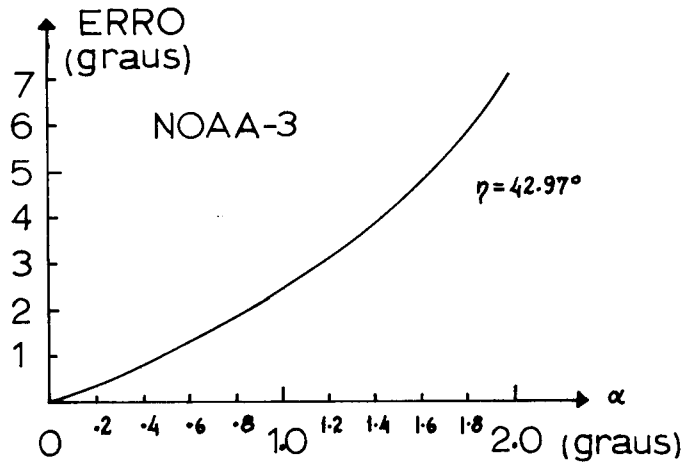


Fig. C.3 - Distribuição de erros versus ângulo  $\alpha$  para  $\eta (= 42.97^\circ)$  correspondente à mínima superposição no equador.