

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 10^{-6} 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 (λ) e Longitude (ϕ). A origem corresponde ao PSS de cruzamento com o Equador. x é medido ao longo de uma linha de varredura
β	Ângulo que o lado γ^* faz com o Equador
δ, γ, γ^*	Lados de um triângulo esférico
λ, ϕ	Latitude, longitude de um ponto considerado
ξ	Ângulo de varredura do radiômetro, medido a partir da reta que une o satélite ao ponto sub-satélite (PSS)
ξ_{\max}	Valor máximo de ξ , quando a varredura corresponde a pontos de tangência sobre a Terra
ϕ_E	Longitude de cruzamento com o Equador
ϕ_E'	Longitude de intersecção da órbita projetada com o Equador
Ω	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 δ	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 ξ e o arco γ 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 η	C.1
Fig. C.2	- Distribuição de erros versus η (proporcional a abscissa x na imagem) para diversos ângulos α entre a foto F e a grade G para o satélite NOAA-3.	C.3
Fig. C.3	- Distribuição de erros versus ângulo α 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.

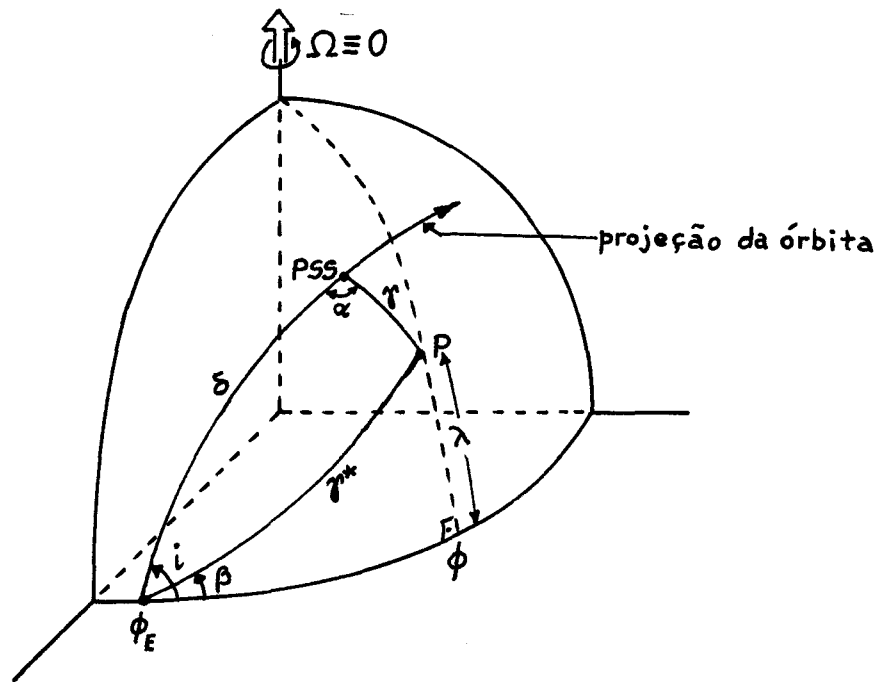


Fig. II.1 - Triângulos esféricos formados pelos pontos sub-satélite e o ponto P a ser mapeado.

O triângulo (P, ϕ , ϕ_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 γ^* e o ângulo β .

Por outro lado, o triângulo (ϕ_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 γ dado o erro de guinada. A fórmula (4) é então usada para calcular δ . 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 δ 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 δ é uma função linear do tempo.

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

onde t é o tempo para percorrer o arco δ 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 δ 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 ϕ_E' diferente da longitude (ϕ_E) de cruzamento com o equador. A Figura III.1 mostra este deslocamento.

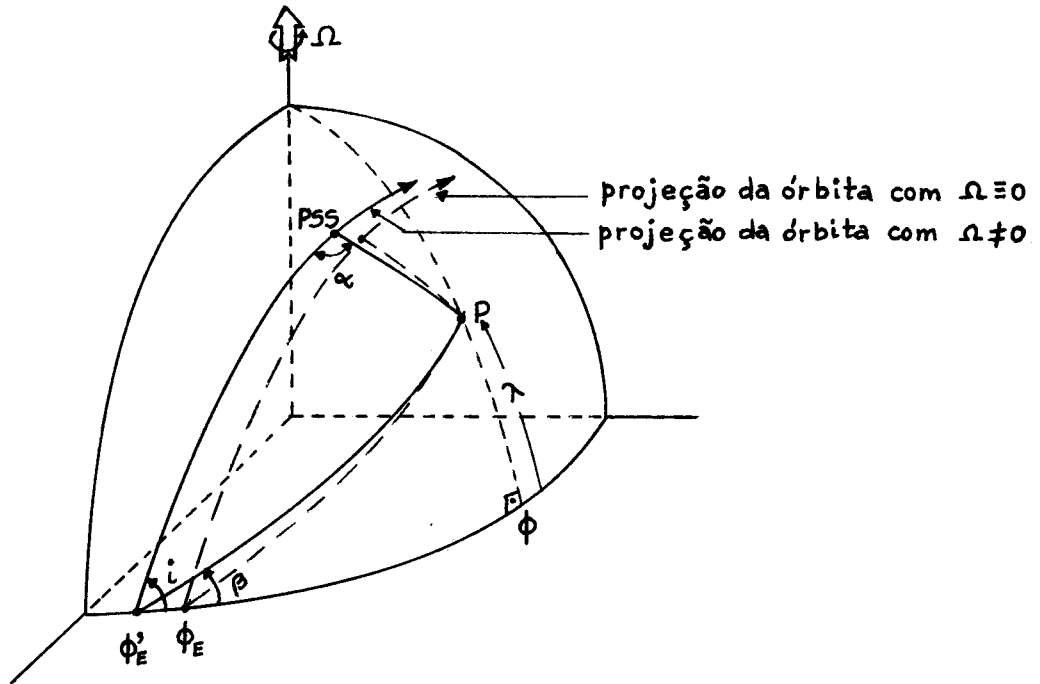


Fig. III.1 - Triângulo esférico tendo a Terra girado o tempo t correspondente ao arco δ .

A longitude (ϕ_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 ϕ_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 ϕ_E' e a iteração é interrompida quando sucessivos valores de ϕ_E' difiram em valor absoluto de um erro pré-estabelecido.

Esquemáticamente temos:

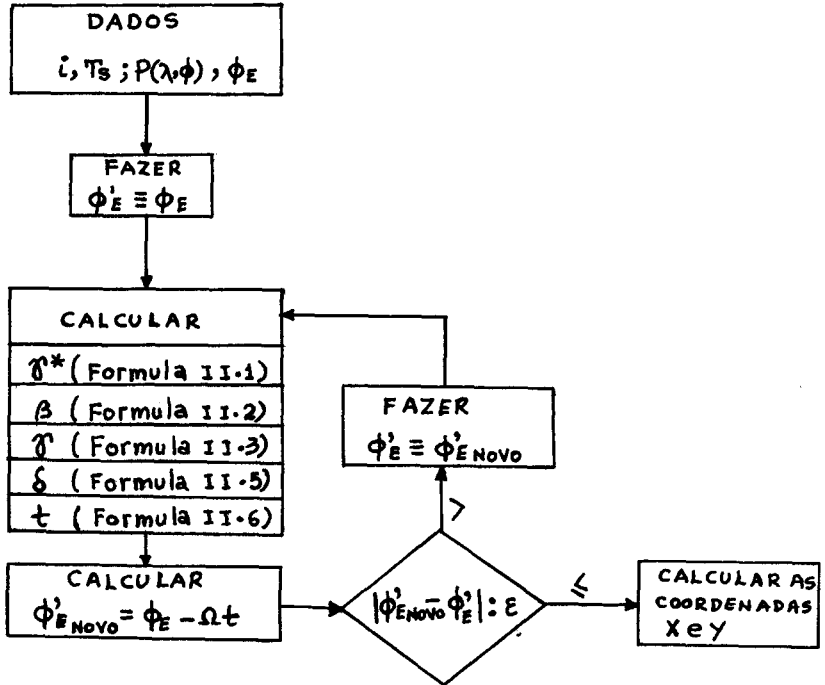


Fig. III.2 - Esquema mostrando o processo iterativo para mapear o ponto P.

O ângulo ξ por sua vez é relacionado com o arco γ (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

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

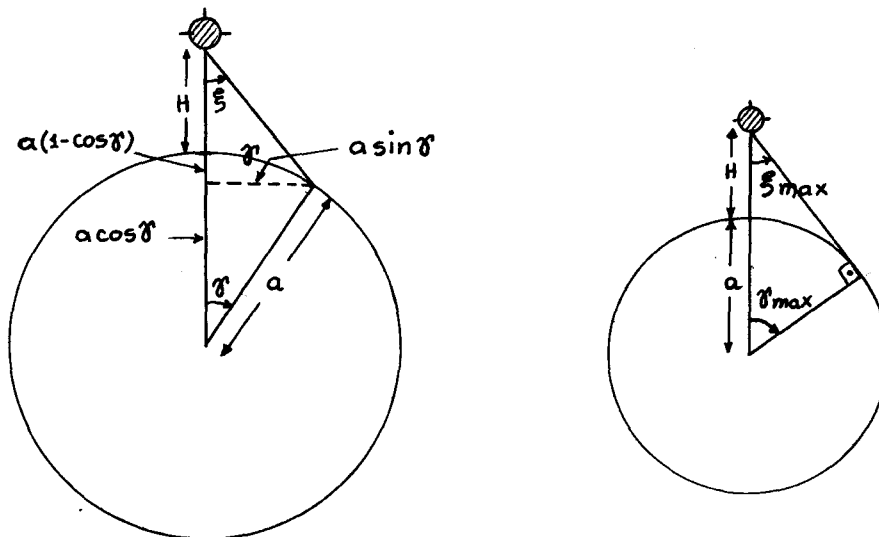


Fig. IV.2 - Relação entre o ângulo de varredura ξ e o arco γ sobre a Terra.

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 δ 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 δ e γ 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 (δ_x, δ_y) na imagem (ver Figura A.1)

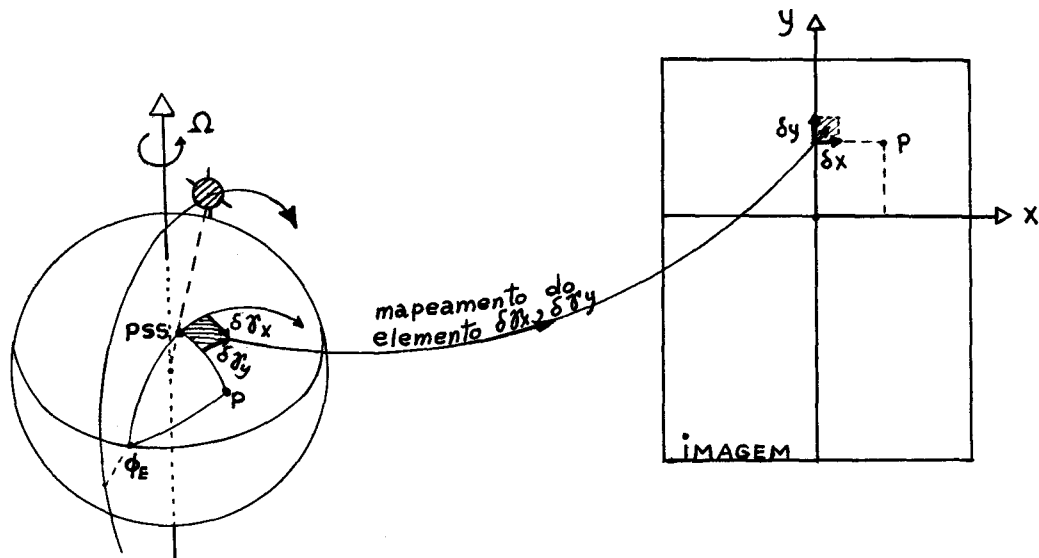


Fig. A.1 - Arcos e comprimentos elementares sobre a Terra e imagem, respectivamente.

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
IF(MGB.EQ.2) GO TO 999
111 READ(2,DATA=999,END=999) LATLON
C      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
SE

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

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 BORD OF METEOROLOGICAL SATELLITES
BY MEANS OF ITERATIVE TECHNIQUE
AUTHOR : ANTONIO DIVINO MOURA                               TNPE/MESA 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=CUSLA*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=CUSLA
255 X2=INC-BETA
SINGO=X1*SIN(X2)

```

```

C      GAMAU DETERMINES THE X-COORDINATE
GAMAO=AKSIN(SINGO)
COSGO=CUS(GAMAO)
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(GAMAO).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

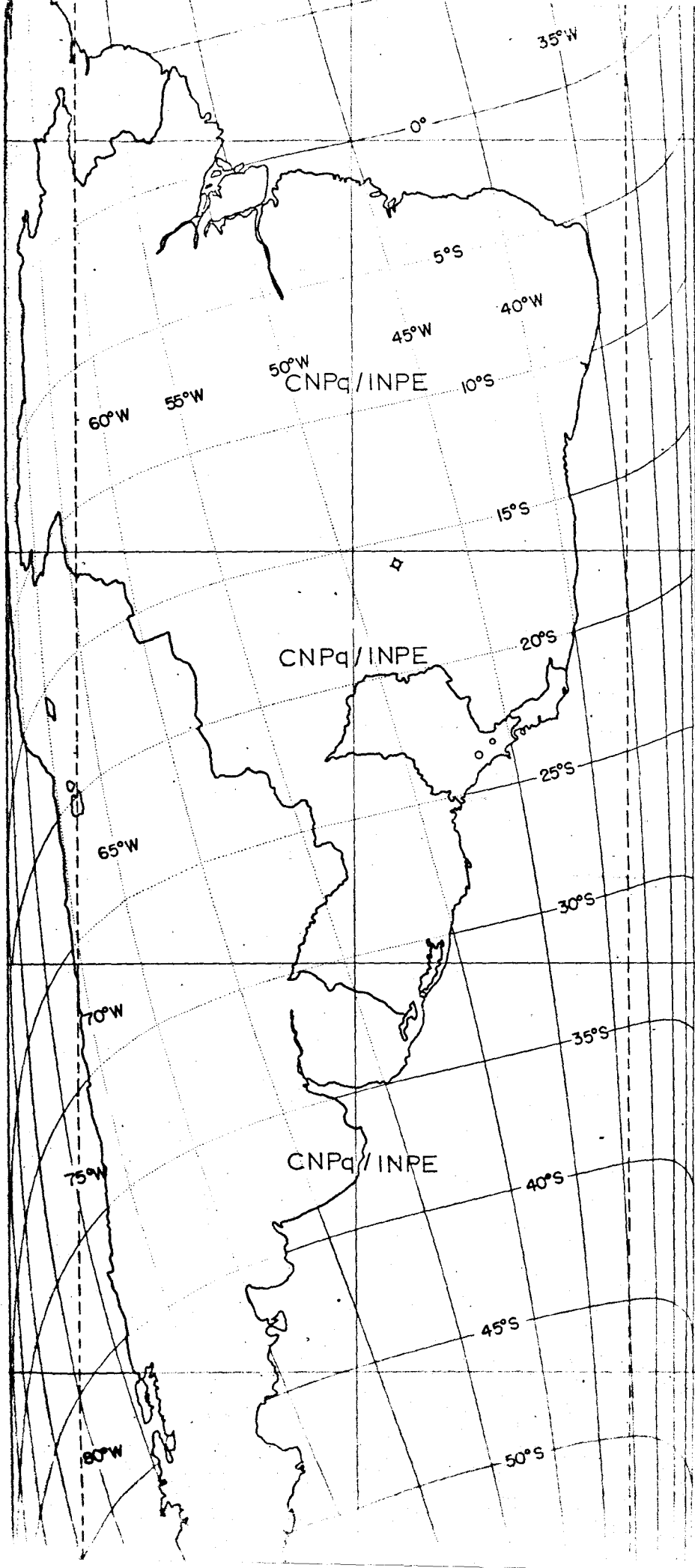
A grade mostrada a seguir é uma cópia melhorada (desenhada a nanquim em papel vegetal) da saída em plotter.

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.

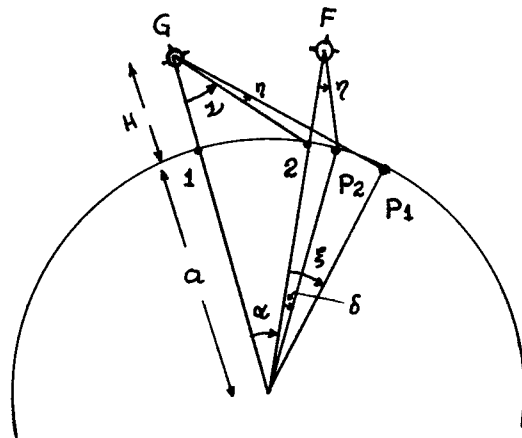


Fig. C.1 - O satélite G(F) sobre o PSS 1 (2) varre o ponto P1 (P2) para um ângulo dado α .

Da Figura C.1, obtemos:

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

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

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

Então, dados α e δ calculamos ν e η e finalmente ξ .

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 η para valores fixos de α . A Figura C.3 mostra esta distribuição em função de α para um valor fixo de η , 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.

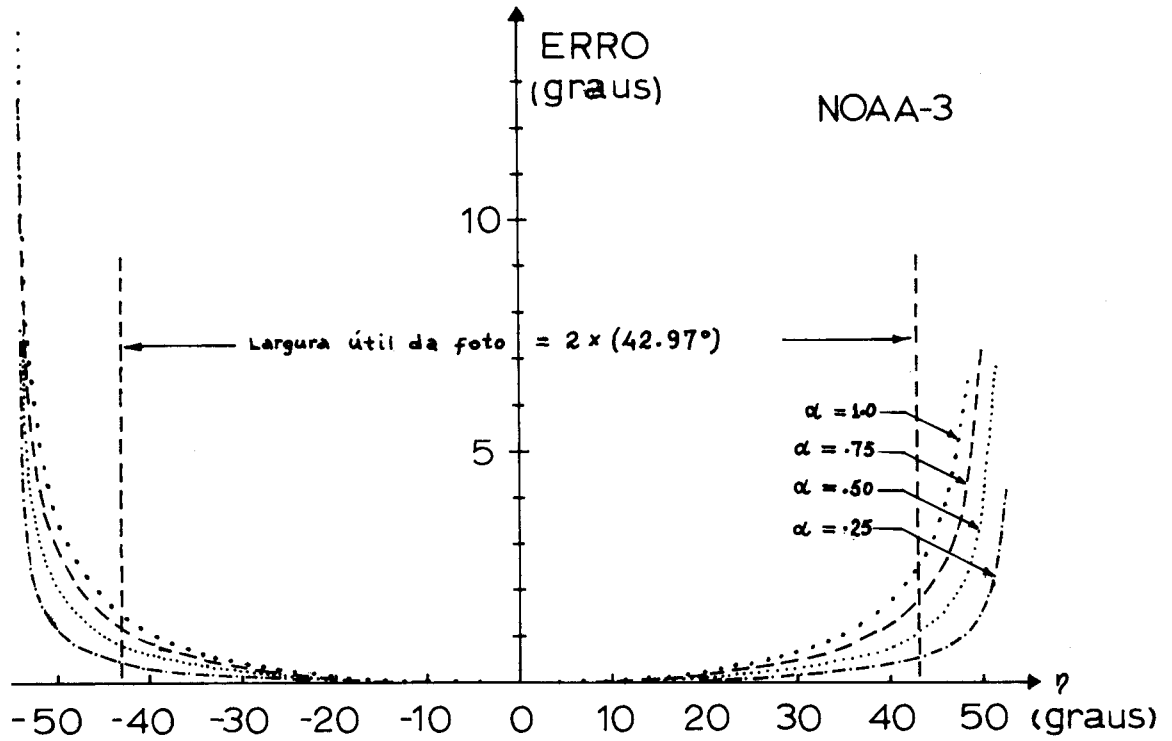


Fig. C.2 - Distribuição de erros versus η (proporcional a abscissa x na imagem) para diversos ângulos α entre a foto F e a grade G para o satélite NOAA-3.

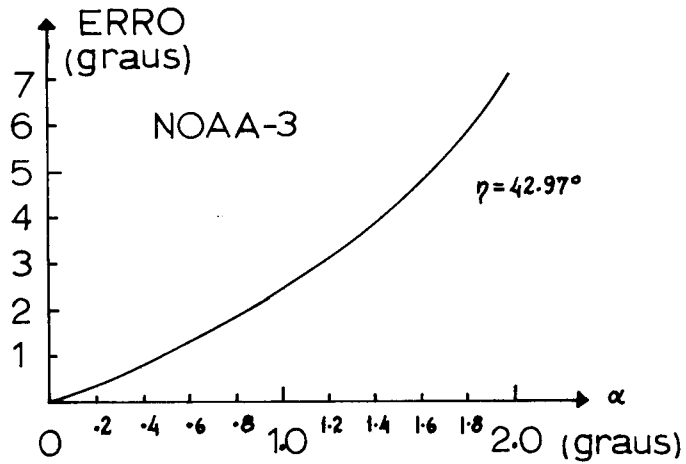


Fig. C.3 - Distribuição de erros versus ângulo α para η (= 42.97°) correspondente à mínima superposição no equador.