

**CORREÇÃO GEOMÉTRICA, COM USO DE UM MODELO DIGITAL DE ELEVACÃO ,
DAS IMAGENS SPOT OBTIDAS EM VISADA LATERAL.
(NÍVEL 3)**

Antônio José Ferreira Machado e Silva
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515,12201 - São José dos Campos ,SP,Brasil

Oswaldo Caldas Barbosa
Diretoria de Serviço Geográfico
Ministério do Exército
SMU - Bloco T - 20 Andar -70000 Brasília ,DF,Brasil

RESUMO

A visada lateral acentua o deslocamento devido ao relevo .A retificação da imagem obtida nestas condições deverá obrigatoriamente fazer uso de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Três metodologias são sugeridas e indicadas suas vantagens e desvantagens . É necessário alterar-se os parâmetros do elipsoide padrão e quatro opções são testadas. O MDE será obtido através do SIG (Sistema de Informações Geográficas) do INPE.

ABSTRACT

The off-nadir viewing increases the planimetric displacement due to the relief. Image rectification in this condition requires a Digital Elevation Model(DEM).Three methodologies are suggested showing the advantages and disadvantages . It is necessary to change the reference ellipsoid parameters ; therefore four options are tested.INPE's GIS (Geographic Information System) will provide the DEM.

1. INTRODUÇÃO

A geometria das imagens de satélite não é perfeita em função de fatores que estão associados ao sensor, à plataforma do satélite e à Terra.

A metodologia usual de correção geométrica baseada em equações de colinearidade, dados de efemérides e de atitudes, tem-se mostrado suficiente para permitir a superposição da imagem corrigida a uma carta topográfica na escala de 1/100000.

O sensor SPOT, ao obter a imagem em visada lateral, colocou em destaque uma distorção geométrica que é de pouco significado em visada vertical (TM/SPOT), o deslocamento devido ao relevo.

Guichard, apresenta na fig. 1 a variação do deslocamento devido ao relevo para um ponto com 1000 m de altitude, quando se altera continuamente o ângulo de visada. As duas curvas da figura em referência são relativas as visadas que passam pelos detetores extremos do sensor.

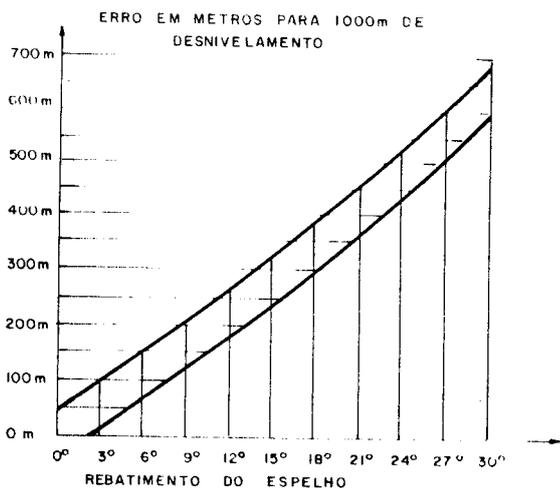


Fig 1 - Deslocamento devido ao relevo para um ponto com 1000 m de altitude variando-se continuamente o ângulo de visada.

A fig.2 ilustra fisicamente o deslocamento devido ao relevo.

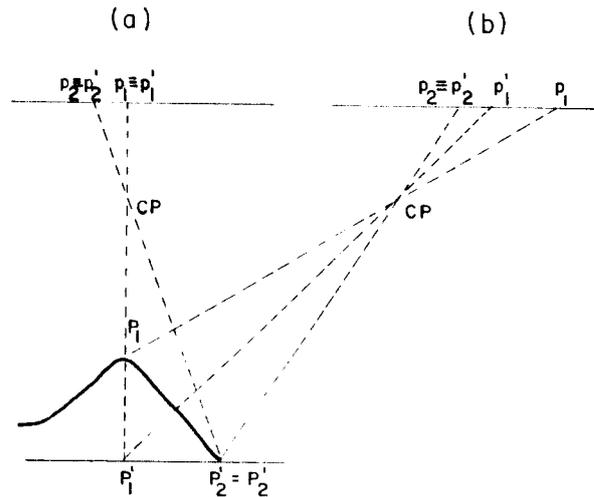


Fig 2 - Representação do espaço objeto (relevo) no espaço imagem.
 CP - centro perspectiva
 a)visada vertical
 b)visada lateral

Como pode ser deduzido desta figura, o relacionamento entre pontos numa imagem vertical é alterado se a área imageada não for plana.

O deslocamento devido ao relevo não é constante e varia em função do ângulo de visada, da posição do detetor e da altitude do ponto considerado. Este último item torna obrigatória a existência de um Modelo Digital de Elevação (MDE) da área considerada, para retificação das imagens de satélite obtidas em visada lateral.

Este trabalho tem por objetivo apresentar as metodologias que estão em desenvolvimento no INPE para a retificação das imagens de satélite com uso de um MDE.

Para sua melhor compreensão define-se abaixo os conceitos de mapeamento direto e inverso.

Mapeamento direto :

Para uma grade de pontos regularmente espaçada no espaço imagem é gerada uma irregularmente espaçada no espaço objeto.

O relacionamento dos pontos homólogos nas duas grades é obtido através de matrizes de rotação cujos elementos são função das efemérides, atitudes, ângulos fixos do sensor, posição do detetor e ângulo de visada. As efemérides podem ser refinadas por pontos de controle.

Mapeamento inverso :

Para uma grade de pontos regularmente espaçada no espaço objeto é gerada uma irregularmente espaçada no espaço imagem ,através de um polinomio cujos coeficientes são determinados por relações entre pontos homólogos do espaço imagem e espaço objeto no mapeamento direto. Esta função relaciona um par x,y da imagem corrigida com a respectiva linha e coluna da imagem 1A (geometria bruta).

2 - METODOLOGIAS PARA CORREÇÃO DO DESLOCAMENTO DEVIDO AO RELEVO.

Três métodos são considerados e como característica comum associam a um ponto $P(x,y)$ da superfície terrestre seu correspondente $p(L,C)$ já corrigido do deslocamento devido ao relevo na imagem 1A (L-Linha C-Coluna).

Inicialmente admite-se para P a altitude mínima (h_{min}) e máxima (h_{max}) da cena , obtendo-se as posições $(L,C)_{min}$ e $(L,C)_{max}$ na imagem 1A.

Dispondo-se de um MDE da área imageada ,associa-se ao ponto P a sua verdadeira altitude h .

2.1 MÉTODO DIRETO

No mapeamento direto a visada que parte de cada nó de uma grade da imagem 1A intercepta elipsoides que passam pela altitude mínima e máxima da cena .

G --) mapeamento direto .
 $G_{hmin}(L,C) \rightarrow x1,y1$.
 $G_{hmax}(L,C) \rightarrow x2,y2$.

As relações acima feitas para todos os pontos da grade (61*61) permitem por um processo de mínimos quadrados gerar o mapeamento inverso cujo modelo matemático é um polinomio (5 grau) que relaciona um par x,y da imagem corrigida com a linha e coluna da imagem 1A .

$P(x,y,h_{max}) \rightarrow p1(L_{max},C_{max})$
 $P(x,y,h_{min}) \rightarrow p2(L_{min},C_{min})$

$d1 = h - h_{min}$
 $d2 = h_{max} - h$
 $d = h_{max} - h_{min}$

Através de uma interpolação linear , é obtida a real posição (L,C) de $P(x,y,h)$ na imagem 1A (Fig 3) .

$$L = (L_{max} * d1 + L_{min} * d2) / d \quad (1)$$

$$C = (C_{max} * d1 + C_{min} * d2) / d \quad (2)$$

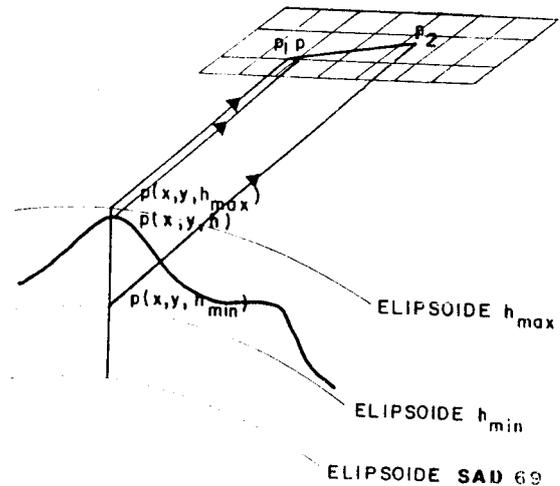


Fig 3 - Equacionamento básico da correção do deslocamento devido ao relevo.

Admite-se que a posição do ponto $P(x,y,h)$ esta na reta que une $p1(L_{max},C_{max})$ e $p2(L_{min},C_{min})$.

2.2 MÉTODO ITERATIVO POLINOMIAL

Este método é uma variante do método 1 .

No mapeamento direto a visada que parte de cada nó da grade da imagem 1A ,intercepta um elipsoide que passa pela altitude média (h_{med}) da cena.

$G_{hmed}(L,C) \rightarrow Lt, Ln$

Lt - Latitude geodésica.
 Ln - Longitude geodésica.

Tal qual no método anterior , é gerado o mapeamento inverso . Neste caso , a função G é um polinomio do 2 grau em Lt e Ln .

A partir deste polinômio e por um processo iterativo determina-se, a posição que $P(L_t, L_n)$ teria na imagem $\tilde{I}A$ se a interseção da visada fôsse feita a h_{max} e h_{min} . Retorna-se em seguida as relações (1) e (2).

A consistência matemática desta abordagem, baseia-se no fato de que as coordenadas geodésicas de um ponto permanecem constantes para uma família de elipsoides concêntricos (fig 5).

O fluxograma da fig. 4 ilustra a seqüência do método.

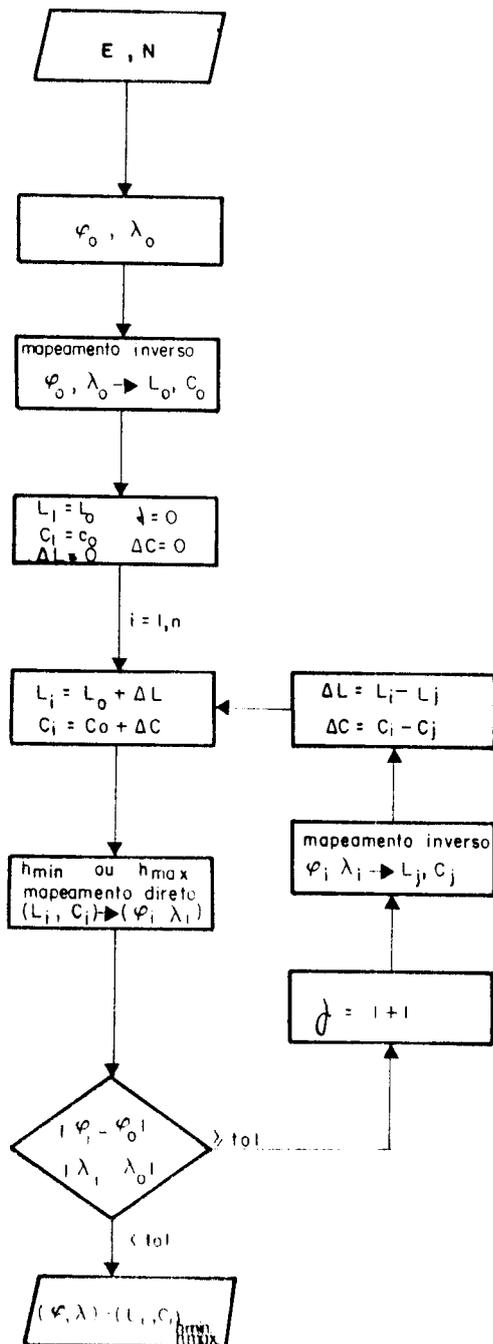


Fig 4 - Fluxograma do método 2
(E, N) - coordenadas planas

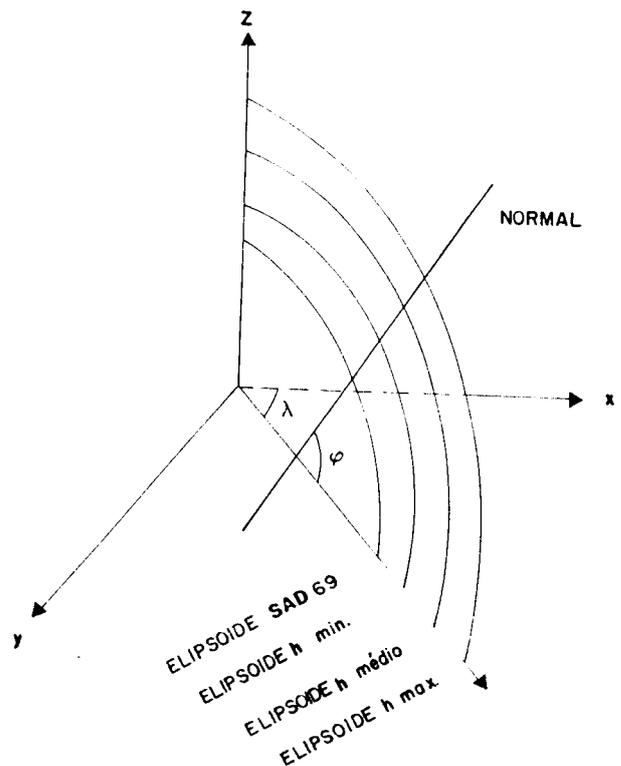


Fig 5 - Coordenadas geodésicas constantes no prolongamento da grande normal. Elipsoides concêntricos.

2.3 MÉTODO ITERATIVO PROJETIVO

Este método, também iterativo, explora as relações da geometria analítica no espaço.

Na figura 6, XYZ é o sistema cartesiano terrestre e xyz o sistema de visada do satélite.

O posicionamento relativo dos dois sistemas não retrata a realidade mas objetiva a simplificação do desenho.

alfa, beta, gama - cossenos diretores da visada. (função da inclinação do espelho, posição do detetor, no do instrumento HRV).

X_s, Y_s, Z_s - coordenadas do satélite referenciadas ao sistema cartesiano terrestre.

$P1(X1, Y1, Z1)$ - interseção da visada com o elipsoide a h_{max} .

$P2(X2, Y2, Z2)$ - interseção da visada com o elipsoide a h_{min} .

P (X,Y,Z) - interseção da visada com o relêvo (MDE).

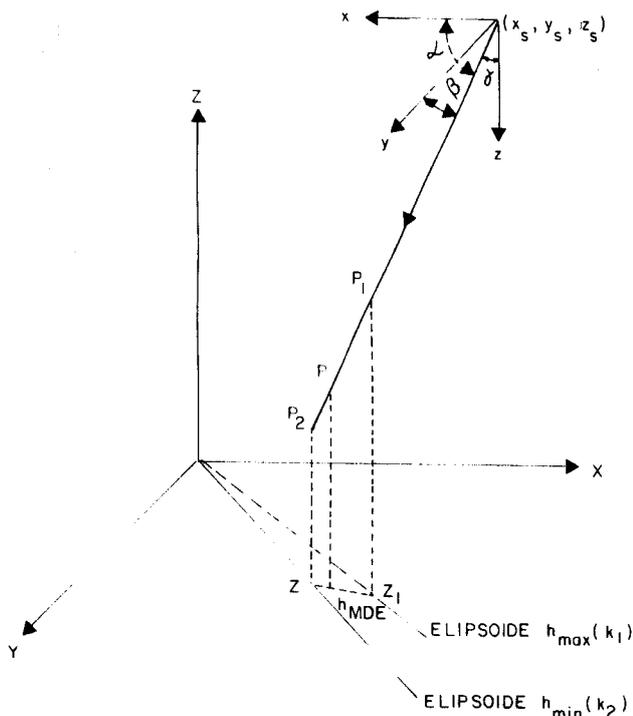


Fig 6 - Fundamentos do método 3 .

O método determina o verdadeiro valor da constante do modelo paramétrico da reta (K) que possibilita a visada interceptar o relêvo (K2 (K (K1).

K1 - constante para interseção da visada com elipsoide a hmin.

K2 - constante para interseção da visada com elipsoide a hmax.

Do modelo paramétrico da reta :

$$\begin{aligned} X &= X_s + K * \cos(\alpha) \\ Y &= Y_s + K * \cos(\beta) \\ Z &= Z_s + K * \cos(\gamma) \end{aligned}$$

O fluxograma da figura 7 ilustra o método.

Tal qual nos métodos anteriores uma grade regular na imagem IA gera uma grade distorcida na imagem corrigida (mapeamento direto). No entanto, esta grade corrigida está isenta do deslocamento devido ao relêvo, porque na sua construção foi levada em consideração a altitude real do ponto da superfície terrestre.

Não existindo uma função global que possa ser associada ao relêvo (distorção de alta frequência) e sendo necessário tornar regular a grade corrigida, usa-se uma

transformação projetiva por partes para possibilitar o mapeamento inverso (Fig 8).

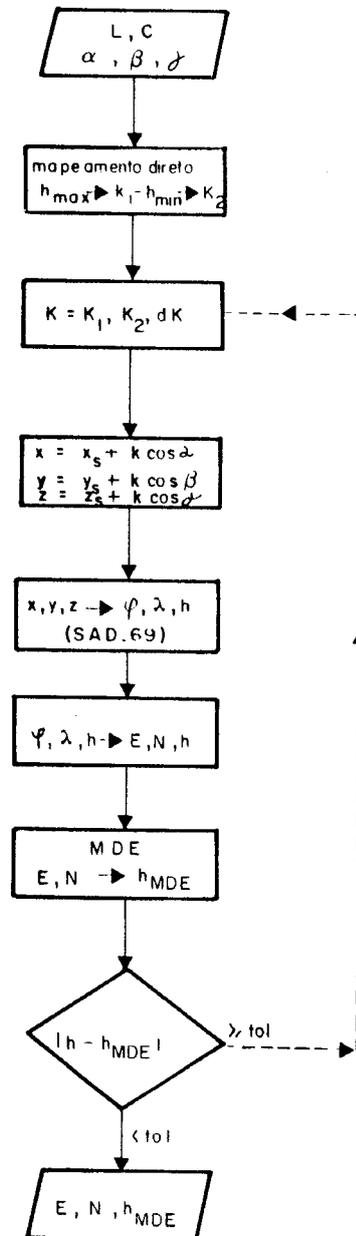


Fig 7 - Fluxograma do método 3.

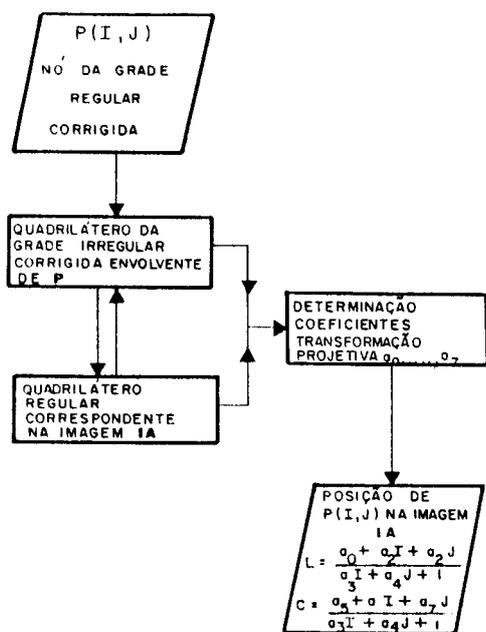


Fig 8 - Sequência para regularização da grade da imagem corrigida no método 3.

3 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS MÉTODOS PROPOSTOS.

Método 1 :

Vantagens - método direto sem iterações .O fato do mapeamento direto ser executado sôbre dois elipsoides auxiliares (hmin ,hmax) sem corrigir o efeito devido ao relêvo permite a utilização de polinomios no mapeamento inverso o que torna o processo mais rápido (menor custo computacional).

Desvantagem - a precisão do método depende do tipo de terreno e do desnível entre a altitude máxima e mínima da cena.

Método 2 :

Vantagens - utiliza coeficientes de polinomio armazenados durante a fase de aquisição dos dados da imagem relativos ao processamento de imagens no nível 2.

Desvantagem - método iterativo e em consequência o tempo computacional de processamento é maior.

Método 3 :

Vantagens - método apresenta maior precisão.

Desvantagens - mapeamento direto executado sôbre dois elipsoides auxiliares (hmin ,hmax) seguido de um processo iterativo para corrigir o deslocamento devido ao relêvo. Processo mais lento e que só permite o mapeamento inverso através da transformação projetiva por partes . O acesso ao MDE não é direto sendo necessário uma interpolação para a obtenção da altitude de determinado ponto P(x,y).

4 - ALTERAÇÃO DOS PARÂMETROS ELIPSÓIDAIIS .

Os métodos de correção do deslocamento devido ao relêvo baseiam-se em elipsoides que passam por determinadas altitudes da cena (hmax, hmin ,hmed) e, em consequência ,são alterados os parâmetros do elipsoide padrão (SAD 69).

São consideradas e avaliadas 4 alternativas para as alterações possíveis.

a) Soma-se h aos semi-eixos do elipsoide padrão e altera-se a excentricidade.

b) Soma-se h ao semi-eixo maior e mantem-se a excentricidade .

c) Soma-se h ao semi-eixo menor e mantem-se a excentricidade.

d) Adota-se para o ponto central da cena a altitude h . Transforma-se as coordenadas geodésicas deste ponto para cartesianas mantendo-se a excentricidade .Calcula-se o semi-eixo maior a partir da equação do elipsoide.

Para um teste quantitativo considerou-se uma determinada visada e h = 1600 m. A interseção desta visada com elipsoides parametrizados de acordo com as alternativas determinou diferentes coordenadas cartesianas. Estas foram normalizadas em relação aos valores da alternativa (a) para facilitar a análise dos resultados (Tab 1).

TABELA 1
 VARIACÃO DAS COORDENADAS DA INTERSECÇÃO DA VISADA EM FUNÇÃO DA VARIACÃO DOS PARÂMETROS DO ELIPSOIDE.OS VALORES ESTÃO NORMALIZADOS EM RELAÇÃO A OPCÃO A.

opção	dx(m)	dy(m)	dz(m)
a	0	0	0
b	-0.475	-0.509	-0.280
c	2.931	3.142	1.724
d	0.001	0.001	0

Verifica-se uma coerência dos resultados entre as alternativas a e d e total discrepância com os valores b e c . A alternativa d nos parece a mais lógica pois indica que o elipsoide gerado na área imageada tenderia a manter uma distância constante em relação ao SAD 69. Como os seus valores são coerentes com a alternativa a qualquer das duas opções pode ser utilizada .

5 - CONCLUSÃO .

Foi dada uma visão do estágio das pesquisas que vem sendo realizadas no INPE para retificar-se uma imagem de satélite quanto ao deslocamento do relêvo. Era objetivo do trabalho fazer uma primeira avaliação quantitativa dos métodos propostos o que não foi possível em função de não existir até a presente dada uma imagem SPOT obtida em visada lateral em que a área imageada permitisse a obtenção de pontos de controle em região elevada . O MDE devera ser obtido através do SIG (Sistema de Informações Geográficas) desenvolvido no INPE. Questões tais como precisão e passo ideais do MDE estão sendo discutidas.

6. BIBLIOGRAFIA

- BAUDOIN, A. La Géométrie d'un Enregistrement à Balayage. In: CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES ,ORG.,Cartographie Spatiale de la Terre, Toulouse, França 1979.p.315-354.
- BOISSIN, B; GARDELLE, J.P. SPOT Localization Accuracy and Geometric Image Quality. SPIE vol.660 ,83-92.Earth Remote Sensing Using The Landsat

Thematic Mapper and SPOT Sensor System ,1986.

FELGUEIRAS, C.A. Desenvolvimento de um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores. São José dos Campos ,INPE,1987 (TNPE -4406-TDL/303).

FLEUTIAUX, B. Corrections Géométriques d'Images . In: CENTRE NATIONALE D ETUDES SPATIALES,Org.,Cartographie Spatiale de la Terre, Toulouse, França 1979.p.489-516

GUICHARD, H. Utilisation Photogramétrique et Cartographique de SPOT. In: SEMAINES INTERNATIONALES DE PHOTOGRAMMETRIE Stuttgart,RFA,1983.

MACHADO E SILVA ,A.J.F. Modêlo Fotogramétrico para Correção de Imagens MSS - Landsat. Instituto de Pesquisas Espaciais ,1984.

MACHADO E SILVA ,A.J.F. Estudo da Qualidade Geométrica das Imagens MSS-Landsat. São José dos Campos INPE ,1986.

MACHADO E SILVA ,A.J.F.;D'ALGE, J.C.L;Bezerra,P.C.R ;Barbosa,O.C. Correção Geométrica de Imagens HRV-Spot .São José dos Campos 1988 .

MACHADO E SILVA ,A.J.F.;D'ALGE, J.C.L;Bezerra,P.C.R Barbosa,O.C. The rocessing of SPOT Imagery in Brazil . ISPRS Kyoto 1988 .

SERRA, P.R.M. Geração de Imagens TM-Landsat em Fitas Geometricamente Corrigidas com Computador. IN : Congresso Brasileiro de Cartografia ,13 ,Brasília ,1987.

WOLF, P.R. Elements of Photogrammetry 1983