

# NAVEGAÇÃO DE IMAGENS AVHRR/NOAA A PARTIR DA MATRIZ DE REFERÊNCIA GEODÉSIA: ESTUDOS E AVALIAÇÕES

Keiko Tanaka e José Luis de Oliveira

Instituto de Pesquisas Espaciais  
Secretaria Especial da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515  
12201 - São José dos Campos, SP

## RESUMO

Este trabalho apresenta estudos comparativos de navegação de imagens obtidas pelo AVHRR/NOAA, a partir da matriz de referência geodésica (matriz de "BREAK-POINTS"). Os elementos dessa matriz gerada a partir de uma formulação físico-matemática desenvolvida por Medeiros e Tanaka (1986), são as coordenadas geodésicas (latitude e longitude) de pontos amostrados regularmente sobre a imagem. As coordenadas nos pontos intermediários (em relação as amostragens) foram determinadas através de dois diferentes métodos de interpolação, quais sejam: o Linear e a Lagrangeana. A precisão destes métodos foi avaliada por comparação com resultados de navegação obtidas utilizando-se a formulação físico-matemática já mencionada. Também foi analisado o aspecto de tempo de processamento computacional.

## ABSTRACT

Using geographic reference matrixes, a comparative study of AVHRR/NOAA imagery navigation is presented. The matrix elements of sample points are generated using a physics-mathematics formulation developed by Medeiros and Tanaka (1986). The coordinate (latitude, longitude) of intermediate points were determined using two different interpolation methods: linear and Lagrange. The precision of these methods was evaluated comparing with the navigation results from the physics-mathematics formulation. The computer time to run these methods was analysed also.

## 1. INTRODUÇÃO

Os dados do Radiômetro Avançado de Muito Alta Resolução AVHRR/NOAA são amplamente utilizados em estudos climáticos, ambientais e de tempo, em função de sua alta resolução espacial e radiométrica como também pela alta precisão no sistema de calibração.

Para a maioria dos aplicativos é necessário operar com as coordenadas geográficas (latitudes e longitudes) da imagem para extrair as informações qualitativas e/ou quantitativas dos dados. Infelizmente, os valores das coordenadas geográficas ocupam um espaço enorme de memória em microcomputador e normalmente as imagens obtidas por satélites não apresentam tais coordenadas.

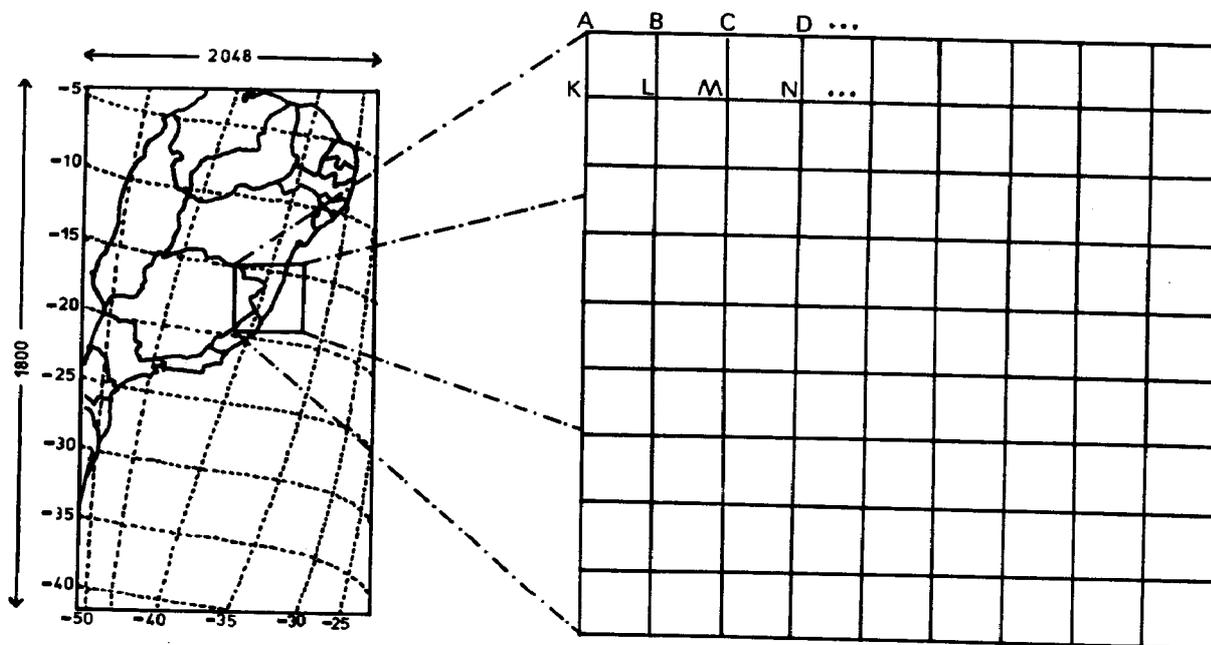
Na determinação das coordenadas geográficas é necessário navegar ponto a ponto as linhas e colunas de uma imagem. Um método de formulação Físico-Matemático desenvolvido por Medeiros e Tanaka (1986) foi implementado no sistema interativo de tratamento de imagem (SITIM-150)

utilizando um microcomputador Pc AT de 8 MHz de clock. No entanto este processamento consome um tempo razoável de processamento computacional em um microcomputador e para agilizar esse tempo foram testados os métodos da INTERPOLAÇÃO LINEAR e LAGRANGEANA.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizado uma imagem AVHRR/NOAA obtida em 15 de setembro de 1989 às 18:06:23 GMT, órbita nº 14210. A figura 1.A apresenta a grade de uma imagem completa com 2048 colunas X 1800 linhas e a figura 1.B representa uma sub-área selecionada na imagem completa de 512 X 512 "pixels". Os pontos A,B,C,D,..... da figura 1.B representam os pontos espaçados entre si da matriz de referência geodésica, onde foram calculadas as latitudes e longitudes a partir da formulação físico-matemática.



(a)

(b)

Fig. 1(a) - Apresenta grade de uma imagem de uma órbita normal do AVHRR/NOAA, 2048 colunas X 1800 linhas.

1(b) - Sub-área selecionada de uma imagem (512 X 512 "pixels").

## 2.2 MÉTODOS

Os parâmetros de entrada para gerar a matriz foram corrigidos de modo iterativo através de um ponto de controle com coordenadas geográficas conhecidas.

Os pontos da matriz onde foram calculadas as coordenadas geográficas através da formulação físico-matemática, foram amostrados em intervalos regularmente espaçados ao longo de cada linha e coluna de varredura dos dados do AVHRR.

No presente trabalho foram implementados programas que calculam latitudes e longitudes em todos os pontos da imagem e também geram matrizes de 64x64 pontos, 32x32 pontos, de 16x16 pontos e de 8x8 pontos. Os pontos intermediários foram obtidos pelas interpolações lineares e Lagrangeanas. Os erros foram estimados das latitudes e longitudes da formulação físico-matemática comparados com os dados interpolados.

Para a determinação das coordenadas geográficas a partir da Matriz de Referência geodésica foram utilizados os seguintes métodos:

### - MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO LINEAR

Inicialmente foram realizadas as interpolações entre dois pontos consecutivos da matriz de referência geodésica tanto na linha entre os pontos  $\overline{AB}$ ,  $\overline{BC}$ , etc., como em coluna, entre os pontos  $\overline{AK}$ ,  $\overline{BL}$ ,  $\overline{CM}$ , etc... Posteriormente foram calculadas as latitudes e longitudes dos pontos intermediários ( $a_1, a_2, a_3, \dots$ ,  $b_1, b_2, b_3, \dots$ ,  $c_1, c_2, c_3, \dots$ ,  $k_1, k_2, k_3, \dots$ , etc.) entre os pontos da matriz de referência. Esta situação esta ilustrada na figura 2.

Em seguida faz-se a interpolação linear entre os pontos  $k_1b_1, k_2b_2$ , etc., e calcula-se as latitudes e longitudes dos pontos intermediários.

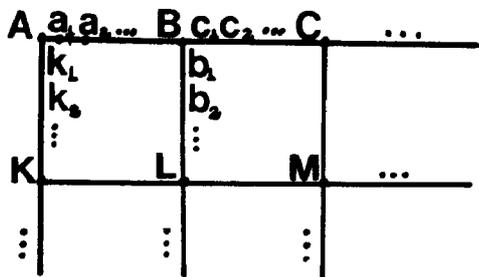


Fig. 2 - Pontos das matrizes de referência geodésica.

### - MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO LAGRANGEANA

Neste caso as coordenadas dos pontos intermediários em relação às amostragens foram determinadas através da interpolação polinomial Lagrangeana.

A fórmula para interpolar as latitudes é dada por:

$$\phi = \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)} \phi_1 + \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)} \phi_2 + \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)} \phi_3$$

e para as longitudes:

$$\lambda = \frac{(t-t_2)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)} \lambda_1 + \frac{(t-t_1)(t-t_3)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)} \lambda_2 + \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)} \lambda_3$$

onde:

$\phi_1, \phi_2, \phi_3$  são as latitudes da matriz de referência geodésica de pontos amostrados regularmente sobre a imagem.

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  são as longitudes da matriz de referência geodésica de pontos amostrados regularmente sobre a imagem.

$t_1, t_2, t_3$  são os tempos de varredura do radiômetro dos "pixels" de pontos amostrados sobre a imagem.

$t$  é o tempo de varredura do radiômetro do pixel a ser interpolado.

Os esquemas utilizados nas interpolações de cada "pixel" são análogos ao método anterior.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

#### 3.1 RESULTADOS

Nas tabelas 1 e 2 apresenta os erros estimados nas interpolações lineares e Lagrangeanas respectivamente comparados com o resultado da navegação obtida utilizando a formulação físico-matemática. Como já prevíamos, observou-se que tanto nas interpolações lineares como na Lagrangeana, a medida que se aumenta o

espaçamento dos pontos amostrados aumenta os erros estimados.

Os erros em relação a longitude é maior que o erro em latitude nas duas interpolações.

Analisando ainda as tabelas, observa-se que os erros estimados é menor na interpolação Lagrangeana do que na linear. Porém a interpolação Lagrangeana devido a uma quantidade maior de cálculos envolvidos requer um tempo de processamento muito superior ao tempo da interpolação linear.

O tempo de processamento para se calcular as coordenadas geodésicas ponto a ponto de uma sub-imagem de 512 X 512 pontos exigiu um tempo de processamento de 3647 segundos no PC AT 286 utilizando a formulação físico-matemática. Este tempo é muito superior aos tempos da interpolação linear e Lagrangeana, conforme mostra as tabelas 1 e 2.

As figuras 3(a) e 3(b), e figuras 4(a) e 4(b) apresenta os erros estimados nas interpolações lineares e lagrangeanas, na linha 634, e entre as colunas 768 a 1308, da imagem AVHRR citada.

Observa-se que os erros estimados nas interpolações lineares tanto em latitude como em longitude são maiores à medida que aproximamos da borda da imagem e diminui gradativamente à medida que aproximamos aos pontos centrais da linha. Quanto menor o espaçamento dos pontos amostrados regularmente sobre a imagem menores são os erros cometidos. Observa-se ainda que os erros estimados nas interpolações Lagrangeanas são menores do que nas lineares.

As figuras 5 e 6 apresenta os erros estimados nas interpolações lineares e Lagrangeanas respectivamente de uma linha completa da imagem, com espaçamentos amostrados de 8 em 8 pontos. Observa-se nestas figuras que os menores erros estão nas partes centrais da imagem.

### 4. CONCLUSÕES

O tempo de processamento para calcular as coordenadas geográficas ponto a ponto de uma imagem de 512X512 pontos foi 3647 segundos no SITIM-150.

A interpolação Lagrangeana apresenta erro menor comparada com a interpolação linear. O máximo de erro estimado na interpolação Lagrangeana para espaçamento de 8 em 8 pontos foi de 0,42 metros, e para a linear 4,22 metros.

Apesar de apresentar erros maiores em relação a interpolação Lagrangeana, a interpolação linear utiliza em algoritmo mais simples e tempo de processamento 3 vezes mais rápido para navegar uma imagem em relação a interpolação Lagrangeana e 12 vezes em relação a formulação físico-matemática.

Em termos de aplicações meteorológicas ou oceanográficas, que não requerem precisões superiores aos erros apresentados, dada a simplicidade da presente formulação, os métodos acima testados apresenta um grande potencial aplicativo.

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MEDEIROS, V.M.; TANAKA, K.; YAMAZAKI, Y. Sistema de navegação dos dados AVHRR dos satélites da serie NOAA. Anais Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, vol.1, pg. 464-471, Gramado, agosto, 1986.

TABELA 1

ERROS ESTIMADOS NA INTERPOLAÇÃO LINEAR ( $\times 10^{-3}$ )

Pontos amostrados	tempo de processamento (segundos)	erro ** latitude (graus)	erro ** longitude (graus)	erro *** latitude (graus)	erro *** longitude (graus)
8 em 8	310	-0.0095	-0.034	0.0035	0.038
16 em 16	296	-0.0340	-0.130	0.0095	0.152
32 em 32	289	-0.170	-0.480	0.0690	0.580
64 em 64	287	-0.520	-1.900	0.1800	2.150

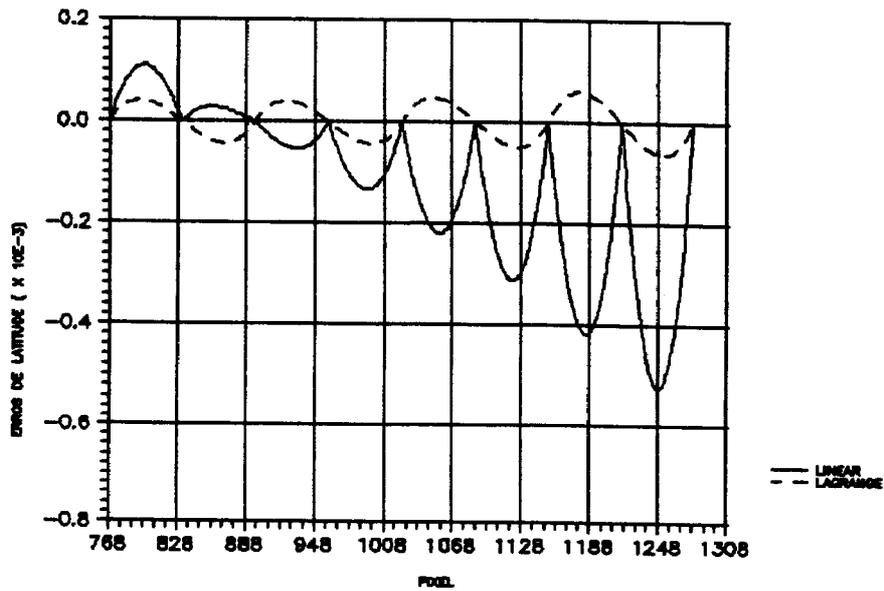
TABELA 2

ERROS ESTIMADOS NA INTERPOLAÇÃO LAGRANGEANA ( $\times 10^{-3}$ )

Pontos amostrados	tempo de processamento (segundos)	erro ** latitude (graus)	erro ** longitude (graus)	erro *** latitude (graus)	erro *** longitude (graus)
8 em 8	881	-0.00190	-0.0038	0.0019	0.0038
16 em 16	852	-0.00190	-0.0055	0.0019	0.0055
32 em 32	842	-0.00625	-0.0400	0.0250	0.0400
64 em 64	840	-0.06000	-0.3900	0.0800	0.3200

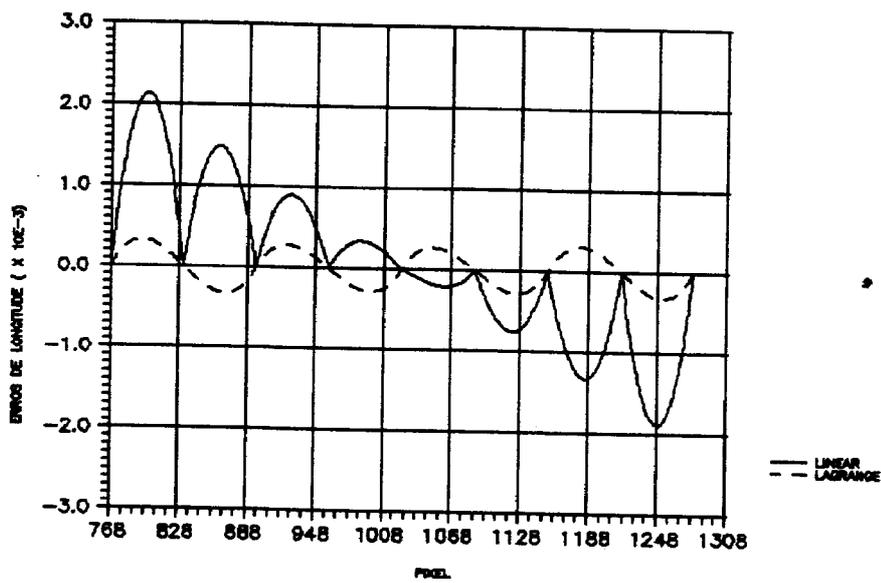
Obs.: \*\* superestimado  
\*\*\* subestimado

GRAFICO DE ERROS DA AMOSTRA 64 (LINEAR E LAGRANGE)



(a)

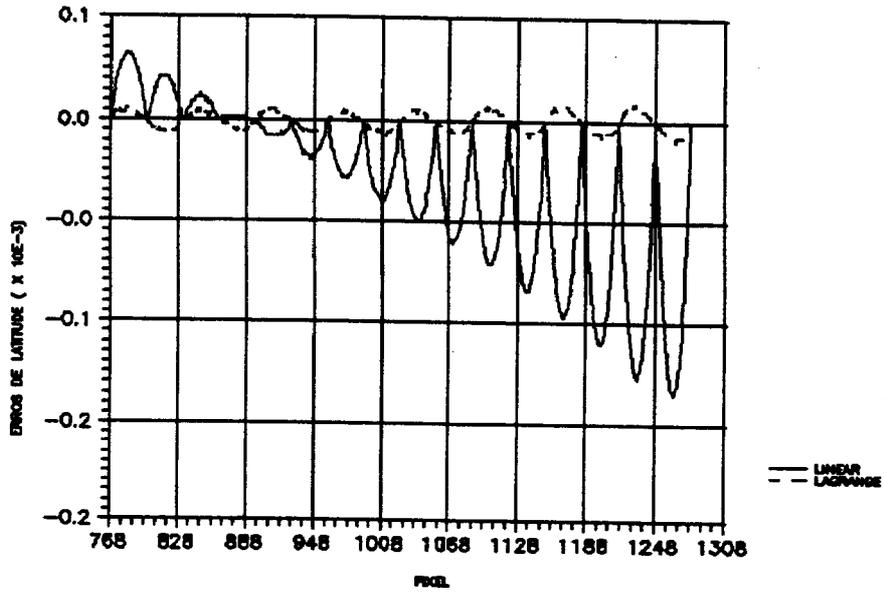
GRAFICO DE ERROS DA AMOSTRA 64 (LINEAR E LAGRANGE)



(b)

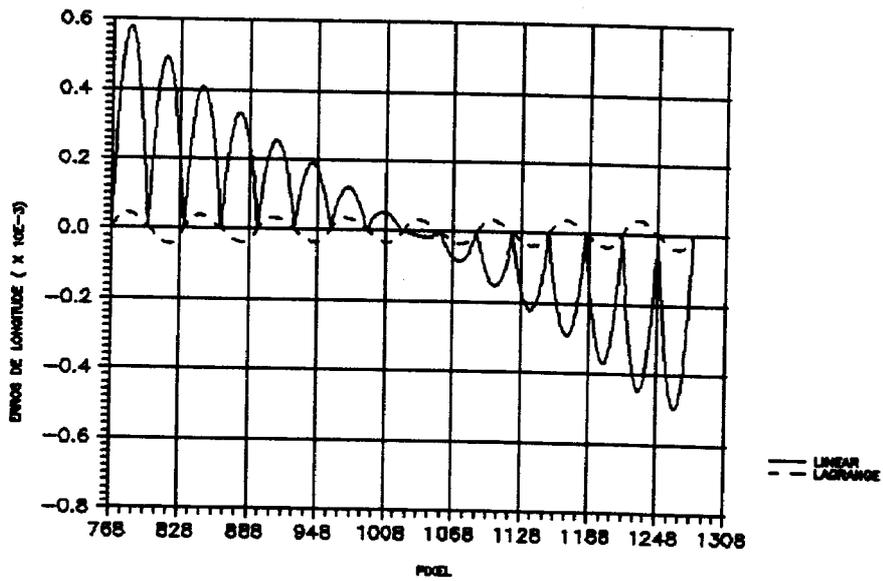
Fig. 3 - Erros estimados nas interpolações lineares e de Lagrange.

GRAFICO DE ERROS DA AMOSTRA 32 (LINEAR E LAGRANGE)



(a)

GRAFICO DE ERROS DA AMOSTRA 32 (LINEAR E LAGRANGE)



(b)

Fig. 4 - Erros estimados nas interpolações lineares e Lagrangeanas.