

1. Publicação nº <i>INPE-2801-PRE/361</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1983</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DIN/DPD</i>	Programa <i>DENUME/INFORMÁTICA</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>CORREÇÃO ATMOSFÉRICA</i> <i>ANÁLISE NUMÉRICA</i> <i>IMAGENS LANDSAT</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5:551.507.362-2</i>			
8. Título <i>INPE-2801-PRE/361</i>		10. Páginas: <i>11</i>	
<p><i>PROBLEMAS NUMÉRICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DO INPE PARA IMAGENS LANDSAT</i></p>		11. Última página: <i>08</i>	
		12. Revisada por <i>N.L. Vijaykumar</i> <i>Virginia Ragoni de Moraes</i>	
9. Autoria <i>Luiz Alberto Vieira Dias</i>		13. Autorizada por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor Geral</i>	
Assinatura responsável <i>Luiz Alberto Vieira Dias</i>			
14. Resumo/Notas <i>Este trabalho descreve os problemas numéricos enfrentados para a implantação de um sistema de correção atmosférica no INPE. Estes problemas são de dois tipos: a) precisão de resultados e b) redução do número de operações. O problema da precisão é resolvido usando o Burroughs B-6800 para o cálculo da transmitância atmosférica. O número de operações é reduzido por meio do uso de tabelas pré-calculadas ao invés de se efetuarem as operações.</i>			
15. Observações <i>Trabalho aceito para publicação nos anais do 1º Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, em São José dos Campos, SP.</i>			

PROBLEMAS NUMÉRICOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE
CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DO INPE PARA IMAGENS LANDSAT

por

Luiz Alberto Vieira Dias

Instituto de Pesquisas Espaciais
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

OBS.: Trabalho apresentado no 19 Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional (19 ERMAC) da Regional-8 da SBMAC, INPE, São José dos Campos, Fev., 1983.

RESUMO

Este trabalho descreve os problemas numéricos enfrentados para a implantação de um sistema de correção atmosférica no INPE. Estes problemas são de dois tipos: a) precisão de resultados e b) redução do número de operações. O problema da precisão é resolvido usando o Burroughs B-6800 para o cálculo da transmitância atmosférica. O número de operações é reduzido por meio do uso de tabelas pré-calculadas ao invés de se efetuarem as operações.

ABSTRACT

The objective of this work is to describe the numerical problems tackled when the INPE's atmospheric correction system was implemented. There are two types of problems: a) results accuracy, and b) excessive number of operations. The accuracy problem is solved by using the Burroughs B-6800 to compute the atmospheric transmittance. To reduce the number of operations, the use of precalculated tables is introduced, instead of actually doing the operations.

1 - INTRODUÇÃO

Em imagens de satélites de observação terrestre, a presença da atmosfera terrestre é um problema constante. Ela tende a borrar a imagem, cuja nitidez fica prejudicada. Foram escolhidas imagens LANDSAT devido ao fato de o INPE vir processando-as e usando-as há vários anos.

O que é possível fazer para minimizar o efeito atmosférico em imagens LANDSAT? Em primeiro lugar, deve-se ter uma idéia da variação atmosférica e de como esta variação afeta as imagens. Em segundo lugar, tem-se de ter um sistema suficientemente veloz e preciso para poder ser prático e ter valor científico e tecnológico. Finalmente, é necessário verificar quantitativamente quão boa é a correção. Pode não ser econômico atribuir recursos para uma correção atmosférica se a melhora na imagem não for perceptível.

O presente trabalho vai dar ênfase ao aspecto numérico/precisão do Sistema desenvolvido no INPE, mostrando quais os tipos de decisões tiveram que ser tomadas e que tipo de "software" teve que ser desenvolvido.

2 - MODELO DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DO INPE

Por muito tempo tentou-se desenvolver um sistema de correção atmosférica para imagens LANDSAT no INPE. Morimoto (1980) chegou a um procedimento que, embora de precisão aceitável, era muito lento para aplicações práticas. A correção de uma imagem tinha que ser feita do seguinte modo:

- a) Levar a fita magnética com a imagem digitalizada para o computador B-6800 onde a imagem era lida.

- b) Corrigir a imagem "pixel" (elemento de imagem) por "pixel" usando as equações da teoria de transferência radiativa. (Chandrasekhar, 1960).
- c) Colocar o resultado (a imagem corrigida) em outra fita magnética e levar para o I-100 - PDP 11/45, onde a imagem corrigida seria visualizada na tela. Além do transporte de fitas entre prédios, o processamento no B-6800 demorava da ordem de meia hora por subimagem (512 x 512 "pixels").

Visando agilizar o sistema, Dias et alli (1981) propuseram um novo procedimento que possibilitou corrigir a imagem no próprio I-100 (Multispectral Image Analyzer). Alguns problemas computacionais tiveram de ser atacados inicialmente. O cálculo da transmitância atmosférica, T, teria de continuar a ser feito a partir de modelos atmosféricos padrões ou modelos gerados por radiossondagens em horário e dia da passagem do satélite, e, o que era pior, no B-6800 (com palavra de 48 bits, alguns cálculos com previsão expandida), pois a palavra de 16 bits do PDP 11/45 era inadequada para a precisão desejada. Em vez de usar diretamente as equações de Transferência Radiativa, escolheu-se corrigir a Radiância observada pelo satélite, L, a partir de correções multiplicativas e aditivas. Sendo L_p a Radiância devida à trajetória e L_I a Radiância Intrínseca do Alvo, tem-se:

$$L = L_I \times T + L_p, \quad (1)$$

onde se quer estimar L_I para cada "pixel" a partir de L (medida pelo satélite), com T e L_p calculados a partir de dados atmosféricos.

Para o cálculo de T, usa-se o programa LOWTRAN 4 (Selby et alli, 1978). O programa tornou-se interativo, para uso em terminal remoto, com saídas gráficas opcionais (Vijaykumar and Dias, 1982), podendo ser rodado no prédio do I-100 através de terminais.

A Radiância da Trajetória, L_p , é de cálculo lento, e depende da distribuição de aerossóis, A , do ângulo zenital, θ , e do albedo médio do terreno, σ . Para se ganhar em tempo de computação, a Radiância medida pelo satélite, L , é inicialmente transformada para condições-padrões, L_s . Uma vez em condições-padrões um outro programa no PDP-11/45 calcula a correção de L_p para essas condições e a transforma novamente para as condições originais, por meio de tabelas previamente calculadas, sendo as entradas T , A , θ e σ . Desta maneira, a correção pode ser feita inteiramente no I-100-PDP 11/45, na própria tela do instrumento, para a tela toda ou apenas para a parte interior ao cursor variável. O tempo total da correção é da ordem de dez segundos.

3 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

Como a correção é rápida, podem-se usar diferentes parâmetros de entrada para se testar a qualidade da correção. Este tipo de procedimento é necessário porque alguns parâmetros de entrada são de difícil avaliação como o perfil vertical de aerossóis que é praticamente desconhecido para o caso brasileiro.

A qualidade da correção pode ser testada de duas maneiras, de acordo com a proposta de Dias et alii (1982):

- a) teste a posteriori dos resultados com dados de verdade terrestre e
- b) uso de dados da imagem mais a estimação de parâmetros desconhecidos.

O caso (b) é o mais adequado, uma vez que se tenham critérios para testar a qualidade da correção.

Os critérios usados são dois:

- a) o contraste da imagem corrigida e
- b) o coeficiente de correlação entre duas imagens de passagens próximas em tempo.

Ambos os critérios não são perfeitos e é aconselhável usar, quando possível, os dois.

O contraste melhora para a melhor correção, porém o oposto não é verdadeiro. É possível melhorar o contraste artificialmente por meio de programas de aumento de contraste, mas o resultado não é bom porque o contraste fica muito mais acentuado do que numa imagem normal. O contraste é definido como:

$$C = \frac{|I_t - I_m|}{I_m}, \quad (2)$$

onde I_t é o valor máximo de um "pixel" na área do alvo e I_m o valor mínimo de um "pixel" em sua vizinhança.

O coeficiente de correlação entre duas imagens pode ser calculado diretamente no I-100/PDP-11/45 por meio de programas já implementados (Câmara-Neto, 1983). O cuidado que se deve ter é o de selecionar duas passagens sem grandes mudanças nos alvos de interesse. Por exemplo, uma plantação em diferentes estágios de crescimento (solo nu e próximo à colheita) obviamente produzirá péssima correlação; ao passo que uma pista de aeroporto deverá dar ótima correlação. O problema é que o programa que usa palavras de 16 bits produz erros numéricos inaceitáveis para alguns tipos de alvo, dando até correlações maiores do que um! A solução para este inconveniente é usar o B-6800 com precisão dupla. Para isso, foram desenvolvidos dois programas que, em vez de corrigirem o resultado na tela do I-100, o fazem em matrizes que são apresentadas na impressora; um deles para o I-100-PDP-11/45 e o outro para o B-6800.

Após a correção no I-100, se há suspeita de que existem problemas numéricos, o programa poderá ser rodado no B-6800. A parte do contraste já está pronta (Yao, 1982), mas a da correção ainda precisa ser implementada no B-6800.

Outro problema com o coeficiente de correção é que a melhor correção para uma passagem é diferente da melhor correção para a outra passagem; o que força a execução de diversos testes, que são agora possíveis devido à nova velocidade da correção.

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram os dados de duas imagens, sua transmitância, contrastes e coeficientes de correção, para a melhor correção. O contraste foi calculado para a imagem de 1978. A correção só foi feita para os canais 5 e 7.

Como se vê, os resultados ainda são preliminares, e muitos estudos e testes ainda são necessários para que se domine completamente a arte da correção atmosférica.

4 - AGRADECIMENTOS

O autor agradece o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE)/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), especialmente na pessoa de seu Diretor, Dr. Nelson de Jesus Parada, cujo suporte foi decisivo para a execução deste trabalho.

TABELA 1 - DADOS DAS IMAGENS

ID	LOCAL	DATA	ORBITA/ PONTO	ANGULO ZENITAL SOLAR	ESCALA	COBERTURA DE NUVENS	ALBEDO ESTIMADO	LATTITUDE
1	Vale do Paraíba, Brasil (inverno)	11 JUL 73	150.28	60°	1:100,000	10%	0.2	23.5
2	Vale do Paraíba, Brasil (verão)	31 JAN 78	150.28	50°	{ 1:100,000 } and { 1:250,000 }	0%	0.2	23.5

TABELA 2 - TRANSMITÂNCIA

ID	CANAL 4	CANAL 5	CANAL 6	CANAL 7
1	0.5284	0.6087	0.6333	0.7092
2	0.7376	0.8007	0.7946	0.8064

TABELA 3 - MELHOR A (IMAGEM DE 1978)

Canal	Aeroporto		Área Florestal	
	coef. de correlação	contraste	coef. de correlação	contraste
4	-	0.36	-	0.36
5	0.24 x 0.24	0.24	0.12 x 0.12	0.36
7	0.12 x 0.36	0.24	0.36 x 0.36	0.36

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARA-NETO, G. Comunicação Privada sobre o programa de cálculo de coeficiente de correlação. (1983).
- CHANDRASEKHAR, S. *Radiative Transfer*. New York. Dorner, 1960
- DIAS, L.A.V.; PEREIRA, A.E.C.; CAMARA-NETO, G.; BENTANCOURT, J.J.V. "Correção de efeitos atmosféricos em imagens de satélite". São José dos Campos, SP, outubro, 1981. (INPE-2281-PRE/059).
- DIAS, L.A.V.; VIJAYKUMAR, N.L.; CAMARA-NETO, G. "A procedure for testing the quality of LANDSAT atmospheric correction algorithms". External Report INPE, São José dos Campos, Nov., 1982. (INPE-2563-PRE/213).
- MORIMOTO, T. "Estudo de efeitos atmosféricos sobre as condições percebidas pelos sensores a bordo de plataformas orbitais (ERTS/LANDSAT)". Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, SP, INPE, 1980. (INPE-1689-TDL/021).
- SELBY, J.E.A.; KNEIZYS, F.X.; CHETRYND JR., J.H.; MCCLATCHEY, R.A. Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTRAN 4. Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, MS, 1978. (AFGL-TR-78-0053).
- VIJAYKUMAR, N.L.; DIAS, L.A.V. "An interactive procedure to calculate atmospheric transmittances". Presented at the II Brazilian Symposium on Remote Sensing. Brasília, DF, Brasil. Published in the *Proceedings, INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, 1982*.
- YAO, C.L. "Estudo de correção atmosférica". Trabalho de graduação. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). São José dos Campos, Dezembro, 1982.