

## Desenvolvimento de um algoritmo otimizado para correção de distorção panorâmica em imagens do sensor MODIS.

Etore Marcari Junior  
Frederico dos Santos Liporace

Gisplan Tecnologia da Geoinformação Ltda.  
Av. Armando Lombardi, 800 – sala 311 – Barra da Tijuca  
Rio de Janeiro – RJ – Brasil  
{etore,liporace}@gisplan.com.br

**Abstract.** Flying over 700 km above the Earth onboard NASA's EOS Terra and Aqua satellites, MODIS sensor can provide a wide range of products, that includes global dynamics and processes occurring on the land, in the oceans and in the lower atmosphere. The wide view range produces the bowtie effect. This paper describes the study of a new algorithm for MODIS' bowtie effect correction and show some results using the new algorithm.

**Palavras-chave:** MODIS, remote sensing, image processing, bowtie effect, sensoriamento remoto, processamento de imagem, distorção panorâmica.

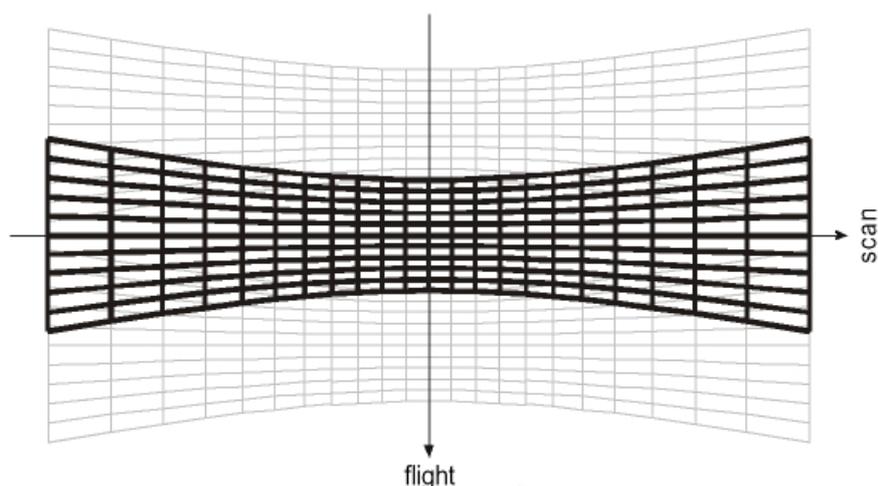
### 1. Introdução

Sobrevoando a Terra a bordo das plataformas Terra e Aqua – satélites pertencentes ao programa EOS/NASA (Earth Observing System / National Aeronautics and Space Administration) – o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) possui 36 bandas espectrais.

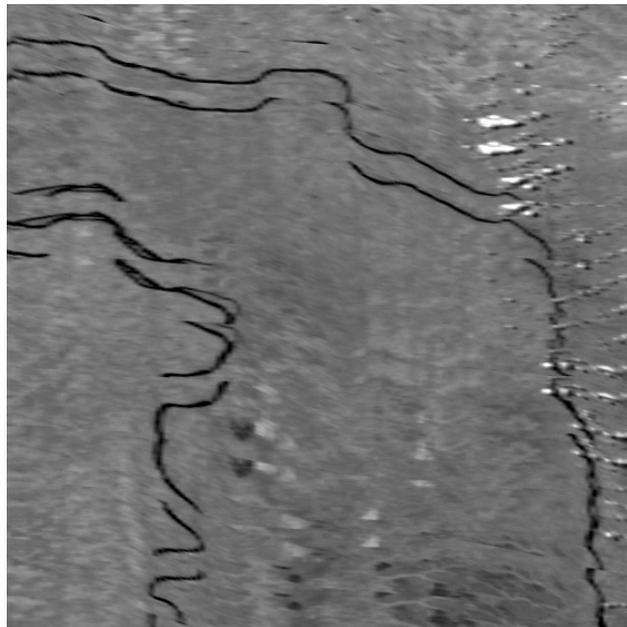
Esta característica viabiliza a geração de uma variedade de produtos, que demonstram o comportamento e fornecem informações sobre feições e características não só da superfície terrestre, mas também de seus oceanos, baixa atmosfera e cobertura de nuvens.

Para cada um dos satélites (Terra e Aqua) são possíveis duas coberturas diárias da Terra, uma diurna e outra noturna. Devido à sua ampla visada (2330 km), o sensor MODIS permite o monitoramento contínuo do ambiente, mas, em contrapartida, gera um dos problemas conhecidos deste sensor: a distorção panorâmica (ou *bowtie effect*).

A distorção panorâmica é um problema causado pela sobreposição do campo de visada do sensor, produzindo a repetição de informação. Este efeito aumenta com o distanciamento do nadir, e é facilmente verificado nas bordas das passagens. A **Figura 1** ilustra teoricamente o problema e a **Figura 2** mostra um recorte de imagem gerada sem correção do efeito de distorção.



**Figura 1** – Exemplo teórico sobre distorção panorâmica, com sobreposição das varreduras.



**Figura 2** – Recorte de imagem sem correção do efeito de distorção panorâmica

A ferramenta denominada H2T (Marcari Jr., 2005) foi criada com o objetivo de gerar imagens referenciadas geometricamente atendendo a um conjunto de requisitos impostos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), dentre os quais a correção do efeito de distorção panorâmica.

Nesta ferramenta a correção do efeito de distorção panorâmica é realizada durante o processo de geração da imagem de saída. A primeira implementação da ferramenta utilizava um algoritmo chamado “localizador grid/pontual”. Este algoritmo – que será descrito adiante – apesar de gerar imagens corrigidas conforme requisitado, em algumas situações exigia um esforço computacional que o tornou inapropriado para o ambiente de produção.

Decidiu-se então pela implementação de um novo algoritmo de correção, denominado “*input scan locator*”, ou “localizador por varredura no espaço de entrada”, objeto de estudo deste artigo.

## 2. A localização no sensor MODIS

O sensor MODIS (MODIS Concept, 2006) é composto por 36 bandas espectrais de alta sensibilidade radiométrica (12 bits). Duas bandas possuem resolução nominal de 250 metros na nadir, cinco bandas com 500 metros e as 29 restantes possuem 1 km de resolução espacial.

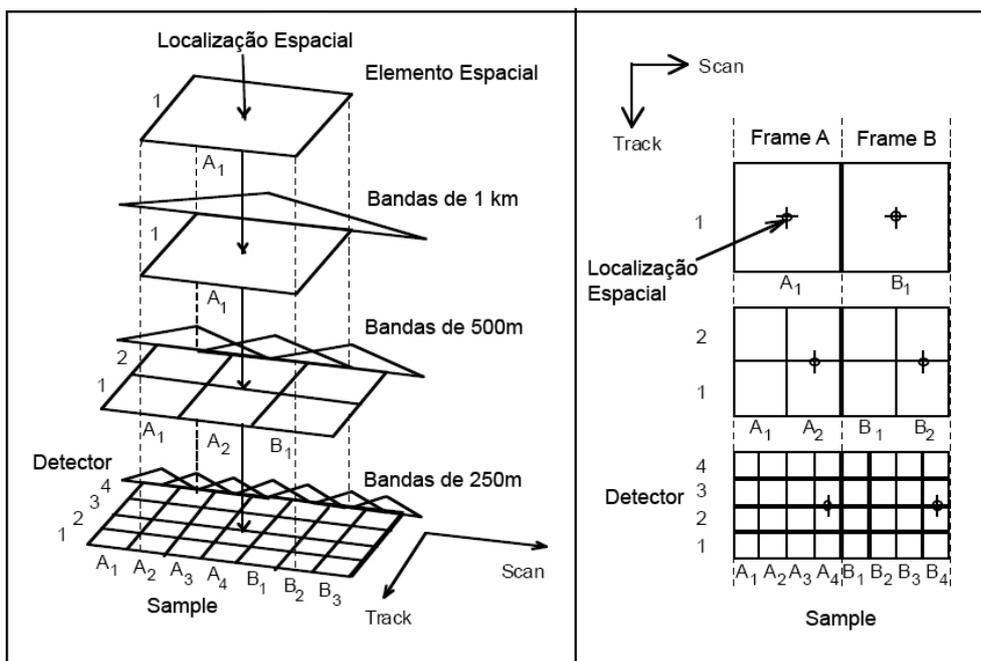
Cada conjunto de bandas possui um número comum de detectores por varredura, como mostra a **Tabela 1**.

**Tabela 1** – Número de detectores por varredura.

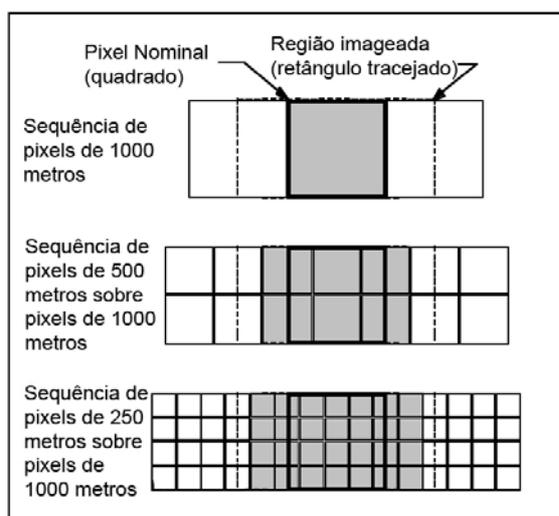
Banda	Resolução espacial (metros)	Número de detectores
1,2	250	40
3-7	500	20
8-36	1000	10

As ferramentas existentes para geração de dados do sensor MODIS no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) (NCSA, 1999), disponibilizadas pela Gisplan na estação de processamento MS<sup>3</sup><sup>1</sup> geram o arquivo de geolocalização (MOD03) com resolução espacial de 1 km.

Para que a localização possa ser realizada quando são tratados *datasets* de 250 e 500 metros, deve-se seguir uma regra de relação definida no relatório técnico SDST-092 (ATDB28, 1997), que pode ser condensada na **Figura 3** e na **Figura 4**. Estas figuras exibem o posicionamento dos *pixels* de 250 e 500 metros em relação ao *pixel* de 1 km, padrão no arquivo de geolocalização.



**Figura 3** – Relação de posicionamento dos *pixels* com 250, 500 e 1000 metros.



**Figura 4** – Exemplo da relação de posicionamento dos *pixels* de 250, 500 e 1000 metros.

<sup>1</sup> MS<sup>3</sup> é a abreviatura para Multi Satellite Station System, estação de tratamento de dados de satélites desenvolvida pela Gisplan em parceria com o INPE.

Da forma como foi criada a ferramenta H2T, esta regra pôde ser implementada em ambos os algoritmos (grid/pontual e por varreduras no espaço de entrada). Os algoritmos são apresentados resumidamente nas próximas seções.

### 3. O algoritmo pontual

Na estação *MS<sup>3</sup>*, durante o processo de geração da imagem a partir de dados MODIS, ocorrem duas transformações. A primeira faz a conversão das coordenadas do espaço de entrada para o espaço da imagem ( $T$ ) enquanto que outra transformação ( $T^{-1}$ ) calcula para cada *pixel* na imagem de saída sua posição no espaço de entrada e seu valor correspondente em níveis de cinza.

Para minimizar o tempo de processamento, no algoritmo pontual é criado um *grid* no espaço de saída, onde a transformação inversa ( $T^{-1}$ ) é aplicada apenas aos pontos deste *grid* e todas as outras posições são calculadas a partir dos valores encontrados, de acordo com o tipo de interpolação selecionado. A partir das posições interpoladas no espaço da imagem de saída é obtido o valor em escala de cinza equivalente.

O algoritmo grid/pontual é assim chamado pois permite ao operador, através do arquivo de configuração da ferramenta, selecionar a área em que deve ser realizada a criação do *grid* e a área onde a transformação inversa deve ser realizada para cada *pixel* pontualmente.

A execução do algoritmo pode ser resumida nos seguintes passos:

- o operador define, através de parâmetros de configuração, os valores mínimo e máximo da área na imagem de saída da área em que o grid será criado;
- o Sistema calcula o *bounding box* da imagem no espaço de entrada;
- o Sistema calcula, através dos parâmetros de projeção, o número de linhas e colunas do espaço da imagem de saída;
- o Sistema calcula a área correspondente na imagem de saída onde será aplicado o grid e onde a localização será pontual;
- o Sistema calcula as coordenadas e os valores equivalentes para cada *pixel* fora do *grid* definido;
- é gerado o *grid* e o posicionamento dos *pixels* dentro deste são calculados através da aplicação de interpolação;
- o Sistema calcula os valores dos *pixels* (em níveis de cinza) de cada um dos *pixels*;
- é gerada a imagem de saída.

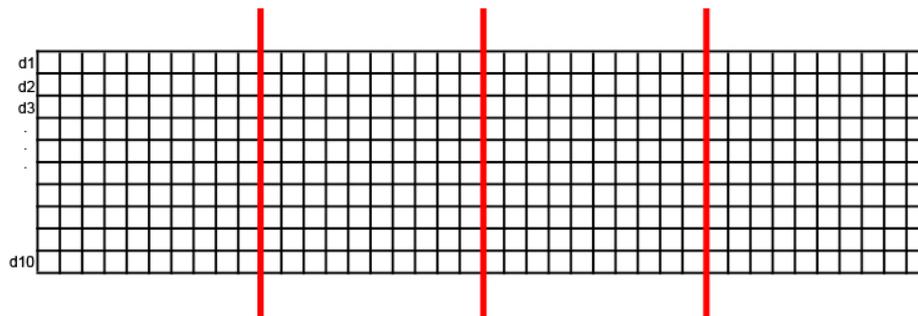
Caso a área de localização pontual não seja definida corretamente pelo operador, o efeito de distorção panorâmica é propagado no espaço da imagem de saída, pois no processo de interpolação valores errôneos são selecionados.

### 4. O algoritmo de localização por varredura no espaço de entrada.

O algoritmo de localização por varredura no espaço de entrada, diferente do algoritmo apresentado anteriormente, utiliza o espaço de entrada para a criação e divisão do *grid*.

Cada varredura (que pode conter 10, 20 ou 40 detectores, como apresentado na **Tabela 1**) é dividida em células de mesma largura. Por conveniência decidiu-se que essas células sejam quadradas.

A **Figura 5** ilustra a quebra da parte inicial de uma varredura em células. Tendo a varredura *pixels* de tamanho 1km, esta deve possuir 10 detectores (vide **Tabela 1**). A divisão é assim realizada para todas as varreduras que compõem o dado de entrada.



**Figura 5** – Ilustração da divisão de parte de uma varredura em células

O algoritmo pode ser resumido nos seguintes passos:

- o Sistema verifica o tamanho do *pixel* do dado de entrada e calcula o tamanho das varreduras;
- a começar pela parte mais à esquerda do primeiro detector da primeira varredura é realizada a “divisão” da varredura em células, e isso se repete até que todas as varreduras sejam processadas;
- para cada célula criada é calculado o *bounding box*, e atribuído um identificador;
- o Sistema, através dos parâmetros de projeção, calcula o tamanho em *pixels* da imagem de saída;
- para cada posição da imagem de saída é feita uma busca por qual a célula correspondente e a posição relativa no espaço de entrada é calculado através de interpolação na célula;
- tendo a posição no espaço de entrada, o valor do *pixel* em escala de cinza é adquirido;
- é gerada a imagem de saída.

Uma vez que o efeito de distorção panorâmica ocorre entre as varreduras, a divisão das células, levando em conta o tamanho de cada uma, evita que este problema seja propagado e, conseqüentemente, o problema é corrigido.

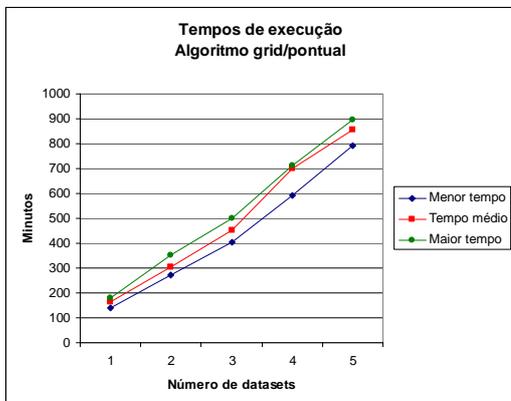
## 5. Testes de desempenho realizados

Para realização dos testes de desempenho, foram executados vários casos, desde o caso mais simples, de geração de imagem na nadir, até casos mais adversos, como a geração de imagem de uma região lateral da passagem, em que em toda a área ocorria o efeito de *bowtie*.

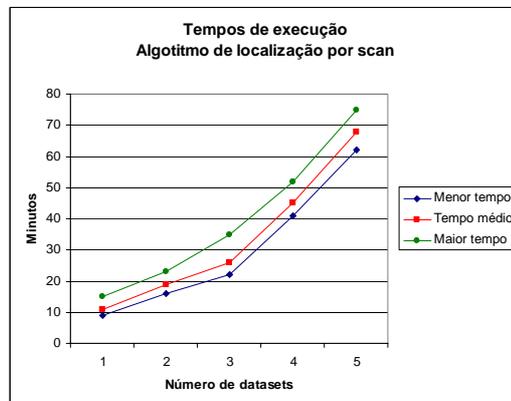
O cenário criado para realização dos testes possuía uma característica que deve ser considerada: os parâmetros do localizador grid/pontual estavam ajustados de forma a aplicar a localização pontual em 80% da imagem (e, conseqüentemente, aplicar o grid nos 20% restantes). Estes valores mostraram-se empiricamente mais adequados para correção do efeito de *bowtie*;

Para não poluir a diagramação deste trabalho, e por apresentarem resultados equivalentes, apenas os resultados em que a imagem de saída possui *pixel* de 250 metros são exibidos. Para extração dos resultados duas versões da ferramenta (com os diferentes algoritmos implementados) foram aplicadas ao mesmo dado de entrada, em suas diferentes configurações (de 1 a 5 *datasets*), 10 (dez) vezes para cada configuração. O menor e maior resultados foram destacados, e a média do tempo foi calculada.

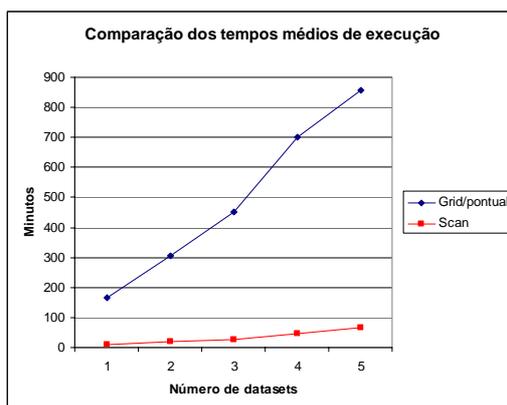
A **Figura 6a** exibe os tempos de execução da ferramenta implementada com o algoritmo grid/pontual, a **Figura 6b** os tempos da H2T implementada com o novo algoritmo e a **Figura 6c** mostra a diferença nos tempos médios de execução.



**Figura 6a** – tempos de execução do algoritmo grid/pontual



**Figura 6b** – tempos de execução do algoritmo de localização por varredura

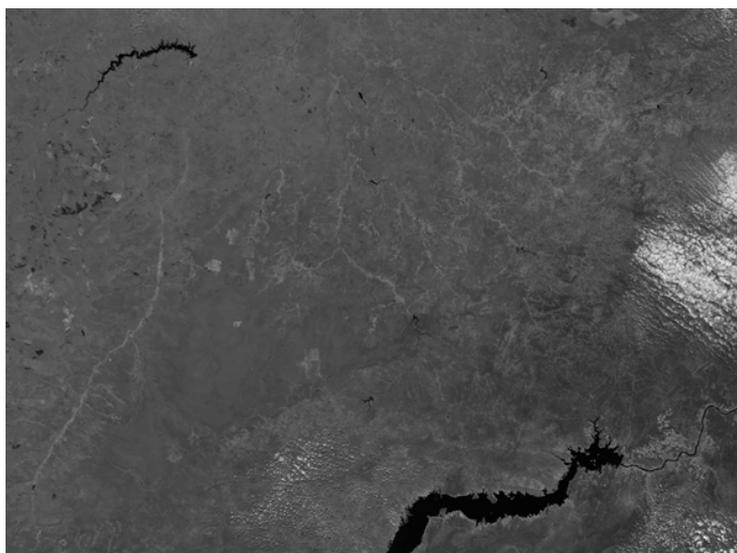


**Figura 6c** – Comparação dos tempos médios de execução das diferentes versões da ferramenta H2T

## 6. Exemplo de imagem gerada

Nesta seção é apresentada uma imagem gerada com o novo algoritmo. Deve-se salientar que as novas imagens, com exceção da área de *bowtie*, possuíam geometria interna equivalente à geometria das imagens geradas pelo algoritmo anterior, como era de se esperar.

A imagem aqui apresentada foi redimensionada, para melhor apresentação deste trabalho.



**Figura 7** – Fragmento de imagem gerada pela ferramenta H2T, com correção de *bowtie*

## 7. Conclusões e trabalhos futuros

Conforme esperado, a implementação da ferramenta H2T com o novo algoritmo de localização por varredura no espaço de entrada apresentou um desempenho consideravelmente melhor que o algoritmo antes implementado.

Esta alteração permitirá que a correção do problema de distorção panorâmica seja aplicado no ambiente de produção. A ferramenta atualmente está sendo testada no Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais (LTID), no INPE. Todas as imagens geradas são validadas através de comparação com dados vetoriais gerados pelo IBGE e imagens adquiridas da NASA.

Em busca de melhorar ainda mais o desempenho da ferramenta H2T, novos pontos de melhoria estão sendo estudados, como a correção sob demanda de posições de fill-value, que deverá ser alterado em breve.

## Referências

MODIS Science Data Support Team, **MODIS Level 1A Earth Location: Algorithm Theoretical Basis Document**. NASA/Goddard Spaceflight Center, 1997. (ATDB-28), Version 3.0.

Marcari Jr. E., **H2T – Uma ferramenta para geração de imagens a partir de dados do sensor MODIS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. Anais . São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 4133-4138. CD-ROM. Online. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.37.44/>>. Acesso em 15. nov. 2006.

MODIS Concept. Disponível em < <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em 15 nov. 2006.

NCSA HDF Group. **HDF 4.1r3 User's Guide**. Disponível em <[http://hdf.nsa.uiuc.edu/UG41r3\\_html](http://hdf.nsa.uiuc.edu/UG41r3_html)>. Acesso em 10 nov. 2006.