

## “Cloud Detection Tool” – Uma ferramenta para a detecção de nuvens e sombras em imagens de satélite

Eric Silva Abreu<sup>1,2</sup>

Leila Maria Garcia Fonseca<sup>1</sup>

Clotilde Pinheiro Ferri dos Santos<sup>2</sup>

Vanildes Oliveira Ribeiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
{eric, leila}@dpi.inpe.br

<sup>2</sup> Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – FUNCATE  
12210-131 – São José dos Campos - SP, Brasil  
{clotilde, vanildes}@funcate.org.br

**Abstract.** The DETER (Real Time Deforestation Detection) and SISPRODES (Annual Deforestation Monitoring) systems use satellite images for deforestation monitoring in the Legal Amazon. While DETER provides information about forest clearing in near real-time using low-resolution images (250 m), SISPRODES estimates the deforestation on a year-to-year basis using medium-resolution images (20-30 m). In both systems, clouds and shadows present in the images make difficulty the image analysis procedures. Within this context, this paper presents a methodology to detect clouds and shadow to assist PRODES and DETER systems to process the images. The method proposed in this work is based mainly on the image spectral information, and image processing techniques such as morphological filtering and threshold operations. Some experimental tests to valid the methodology are performed and although some confusion in detecting shadows still occurs the results are very promising.

**Keywords:** remote sensing, image processing, cloud detection sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de nuvens.

### 1. Introdução

Os projetos PRODES e DETER, desenvolvidos no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), para monitoramento de áreas desmatadas na região Amazônia brasileira são baseados na análise de imagens de sensores orbitais.

A análise das imagens é realizada de forma semiautomática, combinando técnicas de processamento digital de imagens e interpretação visual feita por operadores humanos. Esta análise visa, principalmente, detectar feições ou objetos que representam classes de uso e cobertura da Terra, como, por exemplo, desmatamento, corpos d'água e floresta. Entretanto, a presença de nuvens e sombras nas imagens prejudica a identificação das classes de cobertura do solo, pois elas podem encobrir áreas que representam informações importantes para o processo de mapeamento. Além disso, as nuvens podem apresentar características espectrais semelhantes às do solo exposto e áreas urbanas, assim como as sombras podem apresentar valores de níveis de cinza semelhantes aos corpos d'água, áreas inundadas ou úmidas, levando à confusão na classificação (CRUZ; GALO, 2003), (SANTO; CHAVES, 2007).

Uma ferramenta muito utilizada pelos intérpretes para tentar minimizar os problemas gerados pela presença de nuvens nas imagens é o uso do modelo linear de mistura espectral, que decompõe a imagem em três novas imagens que representam as componentes solo, sombra e vegetação da área imageada (MOREIRA et al., 1998). Essas novas componentes são segmentadas para agrupar os *pixels* com valores semelhantes e, assim, delimitar as regiões espectralmente homogêneas.

Song e Civco (2002) propuseram um método para detecção de áreas cobertas por nuvens e sombras em imagens do sensor TM do satélite LANDSAT-5, utilizando imagens de uma mesma

área obtidas em datas distintas. Eles observaram que a banda 1 e a banda 4 do TM-5 possuem características espectrais mais adequadas para detecção de nuvens e sombras, respectivamente. Para detectar nuvens e sombras, eles definiram, empiricamente, valores de limiares em cada banda para isolar esses objetos. Assim, uma imagem simplificada, contendo apenas as sombras e nuvens, é gerada para cada data. A subtração entre as imagens de datas diferentes gera uma nova imagem, onde as diferenças entre as imagens são realçadas. Finalmente, a intersecção da imagem simplificada com a imagem realçada permite identificar as regiões com nuvens ou sombras, dependendo da banda analisada.

Por outro lado, Silva, Imai e Polidório (2007) propuseram um método para detecção de nuvens e sombras através de seus relacionamentos geométricos baseado na correlação entre o par nuvem-sombra. Eles usaram imagens da câmera CCD do satélite CBERS, e definiram, empiricamente, valores de níveis de cinza para detecção de nuvens e sombras nas diferentes bandas. Nesse tipo de análise, apenas alguns tipos de nuvens são detectados, sendo necessário a presença da sombra da nuvem para caracterizar o par *Nuvem - Sombra*. A correspondência entre nuvens e sombras é feita em duas fases: (1) através de restrições geométricas sobre os pontos candidatos a sombras, baseando-se na localização e na área das sombras projetadas pelos pontos candidatos a nuvens para confirmar a real possibilidade de se tratar de pontos de sombra, e (2) confirmação das nuvens a partir das sombras já confirmadas.

Polidório et al. (2005) analisaram os valores dos atributos espectrais dos objetos na imagem, assim como os índices NDVI e NDWI para auxiliar na identificação de nuvens e sombras. As regiões de sombra e nuvens foram detectadas usando operações de adição e subtração de imagens para realçar os elementos desejados. Na análise, os atributos de cor S (saturação) e I (intensidade) do sistema de cor HSI também foram analisados.

Considerando que os objetos de nuvens e sombras são relativamente grandes, Fonseca et al. (2006) propõe um método para identificação de nuvens a partir de limiares para isolar esses objetos e aplicação de filtros morfológicos com máscaras de 3x3 para reduzir os pontos espúrios na imagem. A imagem é processada por filtros morfológicos, utilizando 4 iterações de erosão e 8 iterações de dilatação. A imagem filtrada é usada para identificar as áreas cobertas por nuvens e sombras.

Pode-se observar que o problema de detecção de nuvens e sombras em imagens de sensoriamento remoto pode ser solucionado usando diferentes técnicas de processamento e análise, assim como diferentes sensores. Portanto, este trabalho propõe um método para identificar nuvens e sombras nas imagens de satélites baseado no método proposto por Fonseca et al. (2006). O método foi implementado como um aplicativo, *Cloud Detection Tool*, do Sistema de Informações Geográficas, TerraSIG, desenvolvido pela FUNCATE. A ideia era desenvolver um aplicativo que disponibilizasse um conjunto de operadores de processamento de imagens, que combinados em uma sequência de operações, permitissem identificar nuvens e sombras em imagens de satélites. Neste trabalho, apresentamos dois experimentos que mostram o potencial do aplicativo para detectar nuvens e sombras em imagens do sensor TM-5.

## 2. Metodologia

O aplicativo *Cloud Detection Tool* foi desenvolvido como um módulo do Sistema de Informações Geográficas, TerraSIG, desenvolvido pela FUNCATE. Ele utiliza um *tool kit* de desenvolvimento (TerraLib Development Kit - TDK) baseado na biblioteca TerraLib (CAMARA; AL, 2000), que é uma biblioteca de código aberto que controla o armazenamento, processamento e análise de dados vetoriais e matriciais em diversos gerenciadores de banco de dados.

A primeira etapa do método de identificação de nuvens e sombras consiste na seleção das imagens a serem analisadas. Posteriormente, define-se uma sequência de operações para

detectar os objetos em questão. O resultado deste processo é um dado vetorial representando os objetos identificados. A Figura 1 apresenta a sequência de processamento para identificar sombras e nuvens.

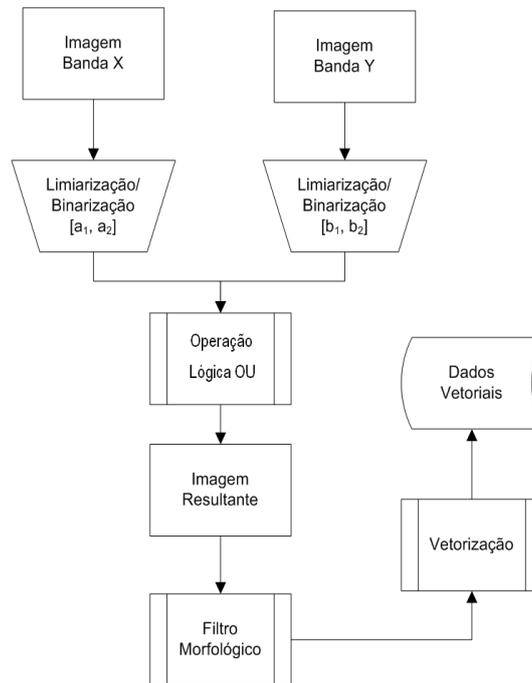


Figura 1: Metodologia utilizada no processo de detecção de nuvens e sombras

No processo de detecção de nuvens e sombra, o primeiro passo consiste na definição das bandas da imagem que possuem características espectrais mais adequadas para a caracterização dos objetos em questão. No aplicativo, as bandas a serem analisadas são definidas na interface mostrada na Figura 2.

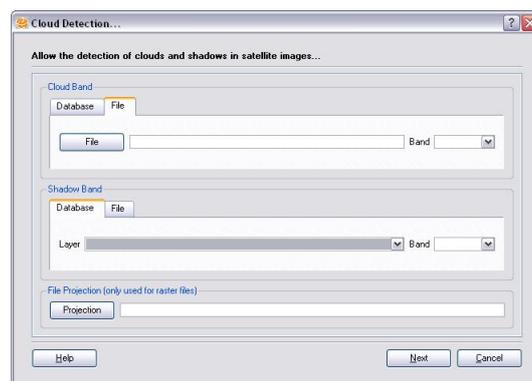


Figura 2: Interface para seleção das imagens a serem analisadas e processadas.

No caso de imagens do sensor TM do satélite LANDSAT, Figura 3(a), pudemos observar que a banda 1, Figura 3(b), possui melhor definição dos objetos com radiância alta (nuvem) enquanto que os objetos com baixa radiância (sombras) podem ser melhor discriminados na banda 5, Figura 3(c).

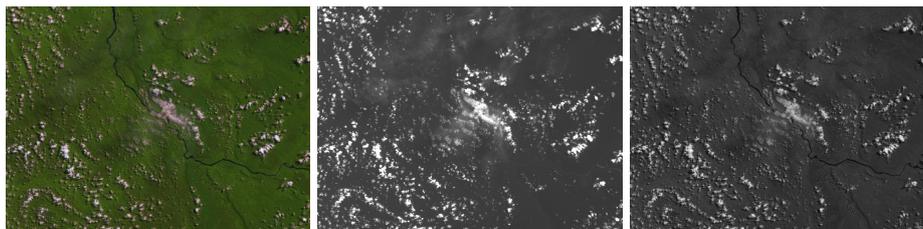


Figura 3: Imagem do sensor TM do satélite LandSat: (a)composição colorida 543(RGB), (b)Banda 1, (c)Banda 5

Selecionadas as imagens a serem analisadas, os parâmetros de processamento, para detecção de nuvens e sombras, são definidos na interface apresentada na Figura 4.

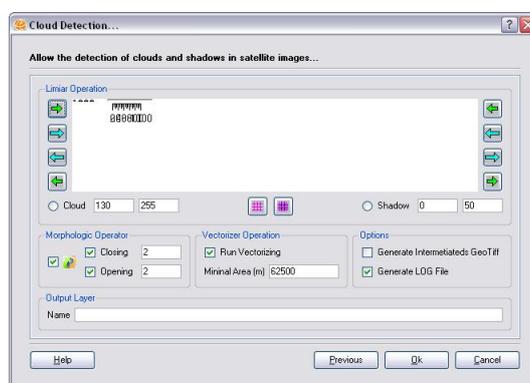


Figura 4: Interface para definição dos parâmetros de processamento.

A interface oferece ao usuário a possibilidade de gerar as imagens intermediárias produzidas em cada etapa do processamento (arquivos com extensão do tipo TIFF gerados localmente em disco). Além disso, tem-se como opção a geração de um LOG da análise com as informações de tempo e parâmetros referente a cada processamento.

A seguir é feita uma breve explicação sobre cada operação aplicada nesta metodologia.

## 2.1. Limiarização e Binarização

A limiarização seguida de uma binarização consiste em converter imagens em tons de cinza para imagens binárias. A forma mais simples de limiarização consiste na bipartição do histograma, convertendo os *pixels* cujos tons de cinza são maiores ou iguais a um certo valor de limiar **T** (ou dentro de um intervalo de valores) em brancos (255) e os demais em pretos (0). Para a detecção de nuvens e sombras, os melhores resultados foram obtidos para um intervalo de valores de tons de cinza ao invés de um limiar.

## 2.2. Operação Lógica

Operações lógicas são operações *pixel a pixel* entre imagens diferentes através de uma regra lógica definida, tendo como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais.

Para essa aplicação, utilizamos a operação lógica OU, que indica a união entre duas imagens (A e B), para ter representado em uma imagem C toda a informação contida na Imagem A e na Imagem B. Esta operação é usada, neste trabalho, para combinar os objetos nuvens e sombras, detectados separadamente, em uma única imagem.

### 2.3. Filtros Morfológicos

As técnicas de filtragem são baseadas em operações locais, que dependem do nível de cinza do pixel a ser processado e dos valores dos níveis de cinza dos *pixels* vizinhos. O processo de filtragem utiliza matrizes, denominadas máscaras, que são aplicadas sobre a imagem para processar o pixel no centro da máscara. Os filtros morfológicos mais comuns são os de erosão e dilatação que, realizados em uma seqüência e utilizando o mesmo elemento estruturante, geram as operações de *abertura* e *fechamento* de uma imagem.

### 2.4. Vetorização

Processo pelo qual um dado no formato *raster* é transformado em um dado na forma vetorial. Normalmente as imagens utilizadas neste processo são rotuladas ou classificadas, ou seja, possuem regiões bem definidas. Neste trabalho aplicamos este processo sobre uma imagem binarizada com o intuito de obter os polígonos que representam os objetos nuvens e sombras. A extração dos polígonos é feita percorrendo-se as bordas das regiões através do algoritmo **código de cadeia (Chain Code)** (GONZALEZ; WOODS, 2001).

## 3. Resultados experimentais e Discussão

O aplicativo *Cloud Detection Tool* foi usado para detectar nuvens e sombras em dois experimentos usando imagens do sensor TM do satélite Landsat-5.

A Figura 5 mostra um recorte de uma imagem TM-5 na composição R5G4B3. Os intervalos de valores de limiares utilizados para nuvem e sombra são, respectivamente, [127, 255] e [0-36]. Os filtros morfológicos foram aplicados realizando primeiramente a operação de abertura seguida da operação de fechamento; cada operação morfológica foi aplicada 2 vezes. No processo de vetorização, definimos uma área mínima de  $62500m^2$ .



Figura 5: Recorte de cena LandSat

Pode-se observar na Figura 6(a), que os objetos detectados como nuvem aparecem isolados na imagem. O mesmo ocorre para as sombras, como mostra a Figura 6(b). A Figura 6(c) mostra a imagem resultante da união das imagens após o processo de limiarização.

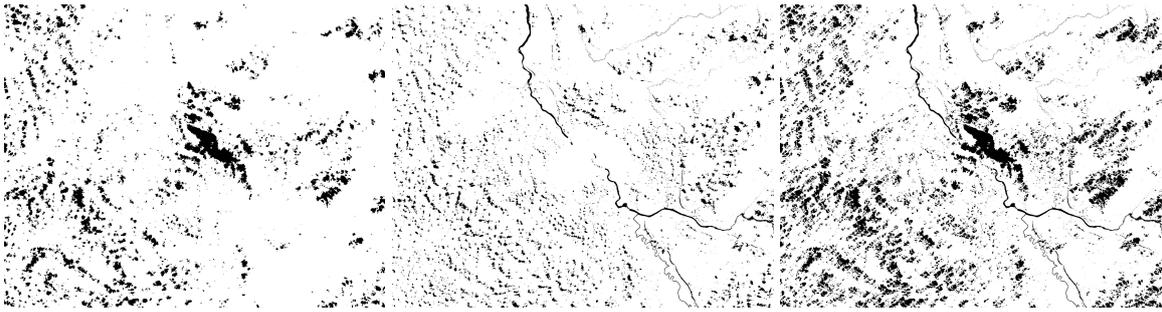


Figura 6: Identificação dos objetos: (a)nuvens, (b) sombras e (c) nuvens e sombras

Podemos observar, na imagem resultante, os objetos nuvem e sombra identificados corretamente. Por outro lado, podemos observar também a presença de pontos isolados e pequenos trechos dos rios. Para a remoção desses objetos indesejados, as operações de abertura e fechamento foram utilizadas na sequência de processamento.

O filtro de abertura define melhor os contornos dos objetos de interesse (nuvens e sombras), como mostra a Figura 7 (a). O filtro de fechamento remove os trechos dos rios e pontos isolados na imagem, como mostra a Figura 7(b).

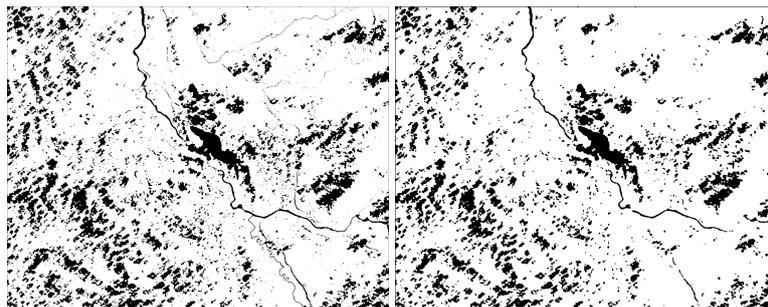


Figura 7: Filtros a)Abertura b)Fechamento

A Figura 8 apresenta o resultado da detecção sobreposto a imagem na composição colorida.

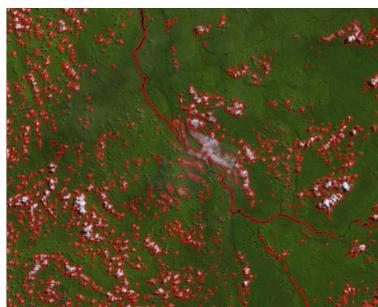


Figura 8: Polígonos das nuvens e sombras sobrepostos na imagem.

Podemos observar que, após os processos de filtragem e vetorização, as regiões pequenas identificadas como nuvens e sombras são removidas. Neste caso, deve-se definir a área mínima igual zero, no processo de vetorização, para que todas as nuvens e sombras identificadas permaneçam representadas na forma vetorial, como mostra a Figura 9.

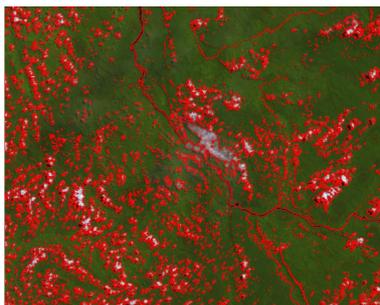


Figura 9: Resultado da detecção sem filtragem e área mínima igual a zero

Um segundo experimento foi realizado para uma imagem TM-5 com alta densidade de nuvens, que é ilustrada na Figura 10. Os intervalos utilizados para os limiares de nuvem e sombra foram, respectivamente, [130, 255] e [0-50]. A filtragem foi realizada com a operação de abertura seguida da operação de fechamento; cada operação morfológica foi aplicada 2 vezes e foi definida uma área mínima de  $62500m^2$  no processo de vetorização.



Figura 10: Recorte sem detecção dos objetos

Podemos observar que, praticamente, todos os objetos de nuvens e sombras foram corretamente detectados como mostra a Figura 11. Como existe uma grande quantidade de sombras e nuvens pequenas, um grande número de polígonos foi gerado para representar todos os objetos. Para gerar polígonos maiores, e assim reduzir o número de polígonos, pode-se utilizar um número maior de iterações no processo de filtragem.

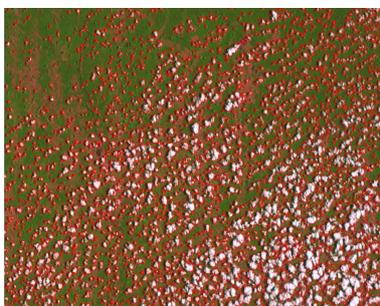


Figura 11: Imagem com as nuvens e sombras detectadas.

#### 4. Conclusões

Este trabalho apresenta resultados de dois experimentos usando o aplicativo *Cloud Detection Tool*, desenvolvido para detecção de nuvens e sombras em imagens de satélites. Através de operações de limiarização, filtragem, e vetorização, implementadas neste aplicativo,

é possível definir uma metodologia para detecção de nuvens e sombras. A metodologia apresentada neste trabalho não se limita a detectar apenas alguns tipos de nuvens como foi observado em alguns trabalhos na literatura e a metodologia implementada é simples e de baixo custo computacional. Isso permite ao usuário realizar vários testes para definir o melhor conjunto de parâmetros para a análise.

Sobre os parâmetros a serem utilizados para a análise, alguns valores foram definidos empiricamente. Para cenas do sensor TM do satélite Landsat-5, valores aproximados para detecção de nuvem na banda 1 estão no intervalo de 130 à 255, enquanto que para sombra estes valores na banda 5 estão entre 0 e 50. Em relação aos filtros morfológicos, o número de 2 iterações para as operações de abertura seguido por fechamento foi adequado nos experimentos realizados. A definição de área mínima é interessante utilizar apenas no caso em que se queira restringir o tamanho dos objetos detectados.

## 5. Agradecimentos

Agradeço a FUNCATE por permitir que eu possa continuar meu aprendizado, não restringindo meus esforços apenas ao trabalho dentro da empresa mas também incentivando minha formação acadêmica. Também agradeço a minha esposa Rita Helena e minha filha Anna Júlia que me dão força e servem de motivação para que eu nunca desanime.

## Referências

- CAMARA, G.; AL et. Terralib: Technology in support of gis innovation. *II Brazilian Symposium on GeoInformatics*, 2000.
- CRUZ, N.; GALO, M. Aplicação de redes neurais artificiais na classificação de imagens multitemporais e multisensor. *Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, Maio 2003.
- FONSECA, L. M. G. et al. Automatic registration and mosaicking system for remotely sensed imagery. *Revista Brasileira de Cartografia*, p. 49–61, Abril 2006.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Digital Image Processing*. [S.l.: s.n.], 2001.
- MOREIRA, M. et al. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de minas gerais. *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 53–57, Setembro 1998.
- POLIDORIO, A. M. et al. Detecção automática de sombras e nuvens em imagens cbers e landsat 7 etm. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, p. 4233–4240, Abril 2005.
- SANTO, E.; CHAVES, J. Uso de imagens cbers na identificação de áreas de extração de areia na região metropolitana de salvador, ba. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 1071–1078, Abril 2007.
- SILVA, W. A. da; IMAI, N. N.; POLIDORIO, A. M. Detecção de nuvens e sombras em imagens ccd/cbers por correlação de pontos candidatos. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, p. 6199–6206, Abril 2007.
- SONG, M.; CIVCO, D. L. A knowledge-based approach for reducing cloud and shadow. *ASPRS-ACSM Annual Conference and FIG XXII Congress*, p. 22–26, Abril 2002.