

Adaptação do método Fmask para detecção de nuvens em regiões tropicais

Daniel Gomes¹
Luiz Eduardo Vicente¹
Daniel de Castro Victoria¹

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303. CEP 13070-115 Campinas, SP, Brazil
{daniel.gomes, luiz.vicente, daniel.victoria}@embrapa.br

Abstract. Land cover and land use mapping are directly dependent on satellite images quality assurance, especially concerning in cloud cover image area percentage. Clouds offer a natural barrier to electromagnetic radiation, obstructing land cover estimates in tropical humid regions. In this context, we present an adjustment in Fmask cloud mapping method in order to include hot hazy clouds and maximize land cover / land use mapping area throughout the tropical region of the coastal zone of the State of Maranhão, northeastern Brazil. We performed Fmask method using only its spectral filtering approach, and we included an extra minimum threshold for visible bands, in order to enhance cloud cover detection. We compared cloud cover image percentage of Fmask adjusted (FMask_{adj}) method to ACCA cloud cover image percentage estimates, with regard to assess the coherence between the two methods. Results point to an increase in Fmask cloud pixels in 76.5% of images analyzed when compared to ACCA method, and that increase may be related to hazy cloud as well as to sand deposits. The mean difference between the two cloud cover mapping estimates is of 4.09 percent of the scene, and the median of the difference is of 3.76 percent of the scene, which demonstrates that the methods are intrinsically coherent.

Palavras-chave: Haze, land cover, Northeastern Brazil, Maranhão, névoa, cobertura da terra, Nordeste do Brasil.

1. Introdução

Os mapeamentos de uso e cobertura da terra são muito ligados à utilização de dados de imagens de satélites, já que os satélites permitem que grandes áreas sejam avaliadas rapidamente, com custos reduzidos de transportes. No entanto, a utilidade das imagens para estes mapeamentos está ligada à qualidade dos dados obtidos na região de interesse, bem como à possibilidade dos satélites gerarem informações com o mínimo de interferências que atrapalhem a visualização dos processos de ocupação espacial.

A presença de nuvens é um dos principais fatores que diminuem a qualidade das imagens de satélites. As nuvens impedem a visualização dos processos envolvidos com a ocupação da terra, uma vez que o vapor d'água é opaco à radiação eletromagnética no espectro óptico. Deste modo, a qualidade do mapeamento está ligada à disponibilidade de aquisição de imagens livres de nuvens, fato que pode ser difícil em regiões tropicais influenciadas por massas de ar úmido.

O Estado do Maranhão apresenta poucas cenas livres de influência de nuvens em sua região litorânea. Durante o mapeamento do uso e cobertura da terra, realizado para a execução do macrozoneamento ecológico-econômico de Estado (Batistella et al, 2013a e 2013b), a umidade do litoral do Maranhão gerou uma demanda por um produto eficiente de mapeamento de nuvens, que identificasse não apenas nuvens frias e densas, como também nuvens quentes e finas, com efeito de névoa (*haze*).

Partindo deste contexto, oferecemos uma proposta de adaptação do método de mapeamento de nuvens *Function of masks* – Fmask (Zhu e Woodcock, 2012), ajustada para identificar áreas de nuvens em regiões tropicais úmidas, com especial enfoque para o Estado do Maranhão. Todas as adaptações foram feitas com o intuito de incluir nuvens semitransparentes à máscara de nuvens, de modo a maximizar a área mapeada em imagens de satélite obtida na região norte do Estado do Maranhão.

2. Metodologia de trabalho

O estado do Maranhão está localizado numa região muito influenciada por ventos úmidos de oeste relacionados à Massa Equatorial Atlântica Norte, bastante propensa à ocorrência de nuvens (Batistella et al., 2013a). Neste contexto, verificamos as órbitas-pontos no estado que possuíam nuvens no período selecionado para execução do mapeamento do uso da terra no Maranhão (Batistella et al., 2013b) e identificamos dezessete imagens TM Landsat-5 de seis órbitas-pontos distintas apropriadas para executar o método de detecção de nuvens (Tab. 1 e Fig. 1).

Para estimar as áreas de nuvens nas imagens, utilizamos o método *Function of Masks* (Fmask) desenvolvido por Zhu e Woodcock (2012). Este método foi elaborado para utilizar uma série de filtros aplicados às sete bandas do sensor ETM+ Landsat-7, identificando áreas de nuvens de acordo com suas propriedades ópticas e termais em três passos de processamento.

Tabela 1. Relação das imagens TM Landsat-5 utilizadas na detecção de nuvens.

Órbita-ponto	Datas de aquisição
219/63	12/jan/2010
	21/jun/2010
	12/nov/2010
220/62	4/fev/2010
	15/ago/2010
220/64	4/fev/2010
	15/ago/2010
221/61	3/jun/2010
	19/jun/2010
	5/jul/2010
	22/ago/2010
	28/dez/2010
221/62	19/jun/2010
	5/jul/2010
222/61	10/jun/2010
	26/jun/2010
	28/jul/2010

No primeiro passo, o Fmask utiliza uma série de testes espectrais nas bandas ópticas aplicada aos pixels com temperatura estimada em menos de 300 K (27°C) para identificar os pixels de nuvens em potencial (*potential cloud pixels*, PCPs). No segundo passo, o Fmask utiliza os PCPs para aplicar testes à banda termal, quando então delimita uma camada possível de nuvens (*possible cloud layer*, PCL).

Em seguida, o Fmask gera uma camada de sombras de nuvem em potencial, que também é mapeada no processo de elaboração da máscara e uma camada de neve em potencial, gerada para evitar que a neve seja confundida com a ocorrência de nuvens. No terceiro passo, o Fmask estima a altura das nuvens em relação às sombras mapeadas na etapa anterior para identificar a compatibilidade entre os formatos das nuvens e sombras, gerando um mapa mais preciso de identificação de nuvens.

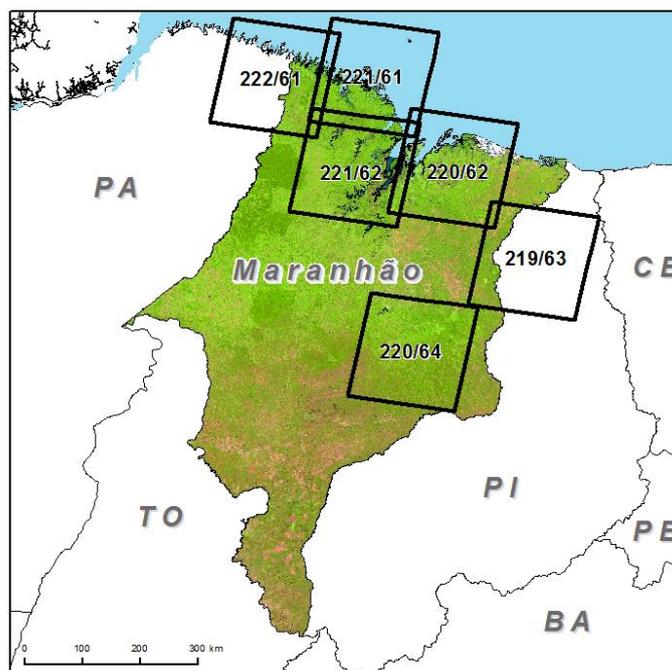


Figura 1. Localização das imagens TM Landsat-5 utilizadas neste trabalho.

Durante a implementação do Fmask nas imagens do Maranhão, observamos algumas particularidades que influenciaram o modo com que este método foi aplicado:

1. A aplicação dos passos um e dois foi suficiente para gerar uma máscara de nuvens abrangente, que incluísse o máximo de nuvens finas;
2. A inclusão de mais uma variável na elaboração da PCL, delimitando um valor mínimo para as bandas do visível, aumentou a detecção de nuvens nas cenas analisadas;
3. Ao incorporarmos as particularidades 1 e 2 na execução do Fmask, percebemos que houve um incremento nos erros de comissão de área de nuvens. Apesar disto, mantivemos estas modificações na metodologia, por considerarmos que elas atendiam aos objetivos do trabalho de maneira mais contundente.

Neste contexto, adotamos a denominação $Fmask_{adj}$ para identificar os ajustes empregados no mapeamento de nuvens do Maranhão e diferenciar o método original do método ajustado. A metodologia pode ser descrita mais detalhadamente por meio da definição das variáveis utilizadas durante o processamento (Fig. 2).

```

# Dados de entrada: Bandas 1 a 7 do TM Landsat-5, convertidas para valores de reflectância no sensor

# Método Fmask(adj): camada potencial de nuvens - passo um

NDSI <- (b2-b5)/(b2+b5)
NDVI <- (b4-b3)/(b4+b3)
BasicTest <- b7>0.03 & b6<(273.15+27) & NDSI<0.8 & NDVI<0.8
MeanVis <- (b1+b2+b3)/3
Whiteness <- abs((b1-MeanVis)/MeanVis)+abs((b2-MeanVis)/MeanVis)+abs((b3-MeanVis)/MeanVis)
WhitenessTest <- Whiteness < 0.7
HOTTest <- (b1-0.5*b3-0.08) > 0
B4B5Test <- b4/b5 > 0.75
WaterTest <- (NDVI<0.01 & b4<0.11) | (NDVI<0.1 & b4<0.05)
PCP <- BasicTest==1 & WhitenessTest==1 & HOTTest==1 & B4B5Test==1

# Método Fmask (adj): camada potencial de nuvens - passo dois

ClearskyWater <- WaterTest==1 & b7<0.03
BTClearskyWater <- b6/ClearskyWater
twater <- quantile(BTClearskyWater, 0.825)
wTemperatureProb <- (twater-b6)/4
BrightnessProb <- min(b5,0.11)/0.11
wCloudProb <- wTemperatureProb * BrightnessProb
ClearskyLand <- PCP==0 & WaterTest==0
BTClearskyLand <- b6/ClearskyLand
tlow <- quantile(BTClearskyLand, 0.175)
thigh <- quantile(BTClearskyLand, 0.825)
lTemperatureProb <- (thigh+4-b6)/(thigh+4-(tlow-4))
# Zhu e Woodcock (2012) não explicam como aferir a saturação nas bandas 3 e 2;
# Consideramos como saturados os valores discrepantes acima da média,
# definidos por "Quartil 3" + 2,5 * ("Quartil 3" - "Quartil 1")
modNDVI <- abs((b3<(quantile(b3,0.75)+2.5*(quantile(b3,0.75)-quantile(b3,0.25)))) & b4<b3)*NDVI)
modNDSI <- abs((b2<(quantile(b2,0.75)+2.5*(quantile(b2,0.75)-quantile(b2,0.25)))) & b5<b2)*NDSI)
VariabilityProb <- 1 - max(modNDVI, modNDSI, Whiteness)
lCloudProb <- lTemperatureProb * VariabilityProb
lCloudProbClearskyLand <- lCloudProb/ClearskyLand
Landthreshold <- quantile(lCloudProbClearskyLand, 0.825)+0.2

# Ajustes finais propostos ao Fmask:
visthreshold <- (b1>0.15) & (b2>0.15) & (b3>0.15)
PCL(adj) <- (PCP==1 & WaterTest==1 & wCloudProb>0.5) | (PCP==1 & WaterTest==0 &
lCloudProb>Landthreshold) | (lCloudProb>0.99 & WaterTest==0) | (b6<tlow-35) | (visthreshold==1)

# A seguinte regra não foi implementada:
# Selecionar apenas os pixels com 5 ou mais pixels vizinhos
# considerados como nuvens, numa vizinhança de 3x3

# Dado de saída: Máscara de nuvens Fmask(adj)##

##

```

Figura 2. Detalhamento das variáveis utilizadas no processamento do Fmask_{adj}.

Para aferir a acurácia da metodologia, utilizamos os valores de nuvens mapeados pelo método *Automated Cloud Cover Assessment* (ACCA) (Irish et al., 2006), disponibilizado no portal *Earth Explorer* de distribuição de imagens (United States Geological Survey, 2014). Neste portal estão disponíveis metadados com os valores numéricos que representam a cobertura de nuvens em cada cena. Apesar de não possibilitar a comparação pixel a pixel, para assim identificar erros de comissão e omissão de áreas de nuvens, a comparação entre os percentuais de nuvens mapeadas pelos dois métodos permitiu verificar a coerência dos dados gerados pela nossa proposta metodológica.

3. Resultados e discussão

Como resultado da metodologia aplicada, obtivemos as máscaras de nuvens das imagens analisadas no estado do Maranhão. Ao compararmos o percentual da cena mapeada como

nuvem pelo método $Fmask_{adj}$ com o valor do percentual mapeado pelo método ACCA (Irish et al., 2006), obtemos um coeficiente de determinação de 0,7469 (Figura 3).

A diferença entre a área de nuvens detectadas pelos dois métodos nas imagens que selecionamos tem uma média de 4,09 pontos percentuais da imagem completa, mediana de 3,76 pontos percentuais e desvio padrão de 2,98 pontos percentuais. Apenas quatro imagens apresentam diferença maior que dois desvios padrão entre os dois métodos (Fig. 3), mesmo número de cenas que apresentaram menos de meio desvio padrão de diferença entre os dois métodos (Fig. 3).

Apesar de apresentar coerência com os percentuais de nuvens do ACCA, o mapeamento do $Fmask_{adj}$ afere uma maior quantidade de nuvens para treze das dezessete imagens avaliadas, o que corresponde a 76,5% das imagens que analisamos (Fig. 3). Embora não seja possível ponderar as diferenças pixel a pixel para melhor avaliar as diferenças entre os dois métodos, podemos afirmar que os resultados que apresentamos atendem o objetivo de aumentar a quantidade de pixels mapeados como nuvens. Verificamos que o aumento na quantidade de pixels mapeados como nuvens está relacionado com a presença de névoa (*haze*) e com a presença de efeitos não desejados, como depósitos de areia (Fig. 4). Até o momento não foi possível aferir o quantitativo de cada um desses efeitos.

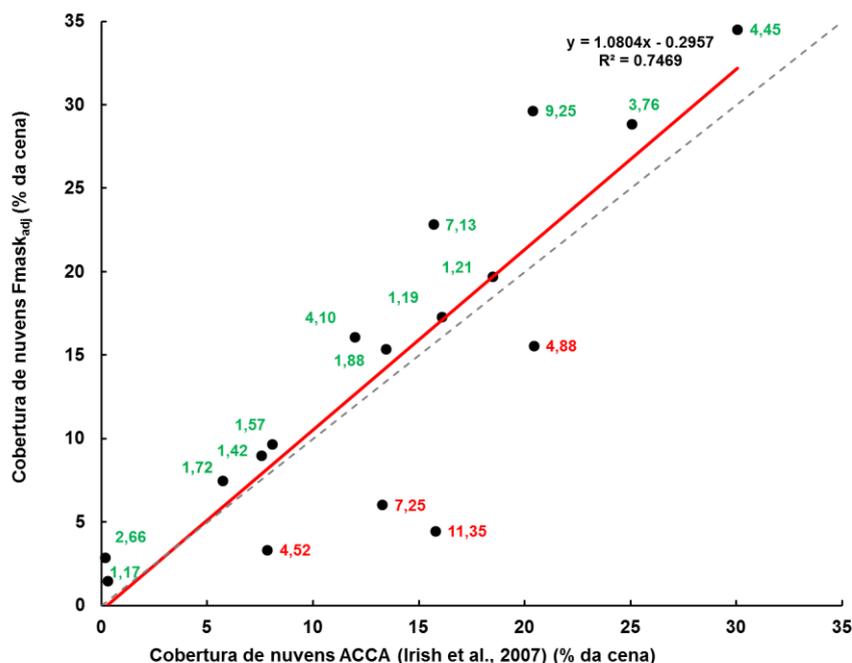


Figura 3. Comparação entre as máscaras de cobertura de nuvens aferidas pelos métodos $Fmask_{adj}$ e ACCA (Irish et al., 2006). Os números indicam, para cada imagem, a diferença entre os percentuais mapeados como nuvens pelos dois métodos: verde para as imagens com mais nuvens detectadas pelo método $Fmask_{adj}$; vermelho para as imagens com mais nuvens detectadas pelo método ACCA.

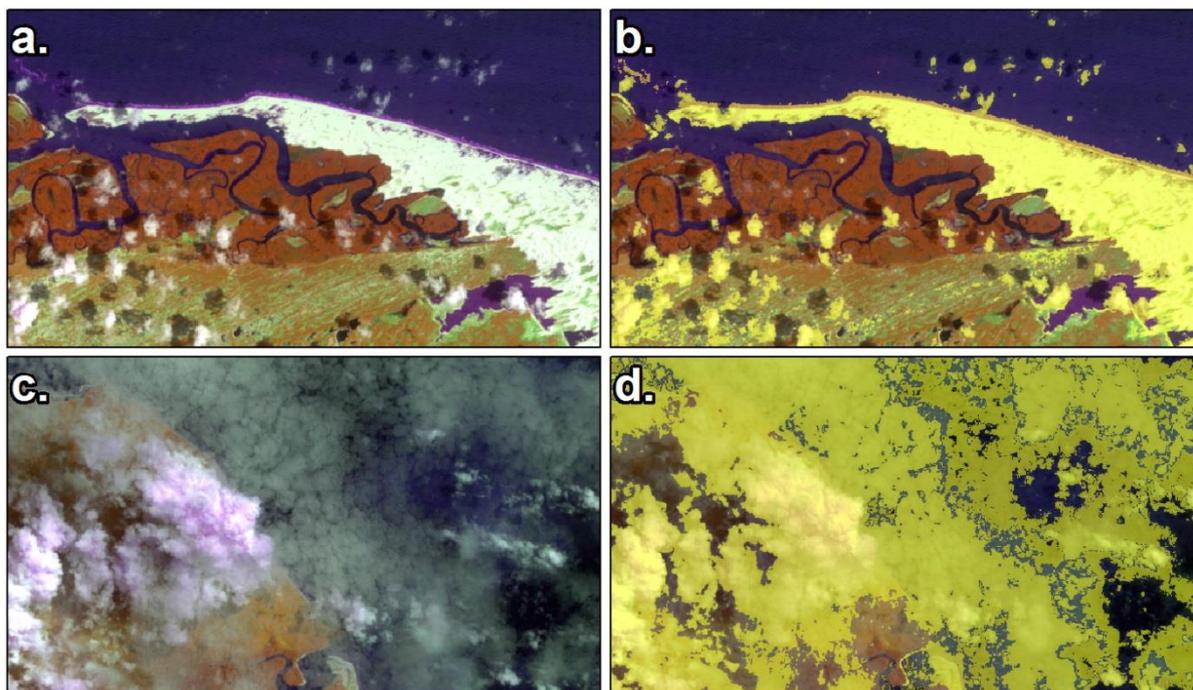


Figura 4. Região dos Lençóis Maranhenses (a) e máscara de nuvens $Fmask_{adj}$ na cor amarela, com inclusão inapropriada de depósitos de solo arenoso (b); região do Golfão Maranhense, próxima a Alcântara (c) e máscara de nuvens $Fmask_{adj}$ na cor amarela, com inclusão de nuvens transparentes (*haze*)(d).

4. Conclusões

Neste artigo, propusemos uma adaptação ao resultado final dos filtros espectrais aplicados no método $Fmask$ ($FMask_{adj}$), para detectar áreas afetadas por nuvens em imagens Landsat 5 TM do estado do Maranhão. O resultado mostra que o método $Fmask_{adj}$ gera mapas coerentes com o método ACCA, ao mesmo tempo em que o percentual de pixels marcados como nuvens pelo $Fmask_{adj}$ é maior do que o percentual de pixels marcados como nuvens pelo método ACCA em 76,5% das imagens analisadas. Verificamos que o aumento da quantidade de pixels mapeados como nuvens ocorrem por causa da inclusão de pixels com efeito de névoa (*haze*), mas também por causa da inclusão de áreas arenosas. Entretanto, não foi possível determinar o quantitativo de cada efeito, fato que poderá ser estimado em trabalhos futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições parceiras, especialmente às integrantes da Comissão Estadual do ZEE e do Comitê Técnico-Científico do ZEE do estado do Maranhão - Secretarias de Estado do Planejamento e Orçamento do Maranhão, do Meio Ambiente e Recursos Naturais, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, do Desenvolvimento Social e Agricultura Familiar, da Infraestrutura, das Cidades e Desenvolvimento Urbano, de Minas e Energia, do Turismo e da Pesca e Aquicultura, Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Estadual do Maranhão e Embrapa Cocais. Os autores também agradecem aos estagiários Flávio Ramalho, Marília Zanetti, Bruno Palermo e Tatiana Jordão pelo auxílio na execução da metodologia.

Referências bibliográficas

Batistella, M.; Bolfe, E. L.; Vicente, L. E.; Victoria, D. C.; Araújo, L. S. (Org.) **Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão**, v. 2. Campinas, SP: Embrapa, 2013a. 325 p. il. (Embrapa Monitoramento por Satélite / Relatório Técnico, v. 2 – CDD 333.70981).

Batistella, M.; Bolfe, E. L.; Vicente, L. E.; Victoria, D. C.; Araújo, L. S. (Org.) **Relatório do diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão**, v. 1. Campinas, SP: Embrapa, 2013b. 445 p. il. (Embrapa Monitoramento por Satélite / Relatório Técnico, v. 1 - CDD 333.70981).

Irish, R. R.; Barker, J. L.; Goward, S. N.; Arvidson, T. Characterization of the Landsat-7 ETM+ automated cloud-cover assessment (ACCA) algorithm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 10, p. 1179-1188, 2006.

United States Geological Survey. Earth Explorer. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em 02.nov.2014.

Zhu, Z.; Woodcock, C. E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 118, p. 83-94, 2012.