

## Avaliação produto MOD35L2 para estimativa da fração de cobertura de nuvens sobre o reservatório de Tucuruí/PA

David de Andrade Costa<sup>1</sup>  
Marcelo Pedroso Curtarelli<sup>1</sup>  
João Antonio Lorenzetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto – INPE/DSR  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{ davidcosta, mpedroso, loren }@dsr.inpe.br

**Abstract.** The cloud cover fraction can be estimated based on *in situ* or by remote sensing data. One of such satellite products for cloud cover is the MOD35L2 from MODIS sensor. Given the availability of a *in situ* data set, we chose the Tucuruí reservoir as the study area. The *in situ* data used for validation of the MOD35L2 product was acquired by the Integrated Environmental Monitoring System (SIMA). The results showed that the product shows a significant statistical correlation ( $p = 0.05$ ) with the average annual variation of cloud cover in the region in comparison with *in situ* data but the correlation is relatively low between the product fraction of clouds estimation and the estimated field data ( $r = 0.19$ ). It was also found that the product overestimates cloud cover values on daily-basis analysis. The bias and RMSE values, obtained for the 2013 data validation, were 0.65 and 0.72 respectively. In order to understand the temporal dynamics of cloud cover over the Tucuruí reservoir, it was applied the Wavelet analysis technique on time series data on daily-basis over the period 2004-2013. The analysis was able to reproduce the characteristic annual and semiannual cycles of the region.

**Palavras-chave:** MOD35L2, cloud cover, heat flux, tropical reservoirs, MOD35L2, cobertura de nuvens, fluxo de calor, reservatórios tropicais.

### 1. Introdução

Diversos estudos discutem o papel do balanço de calor nos processos físicos (Alcântara et al., 2010; Curtarelli et al., 2013), químicos e biológicos (Tundisi et al., 2004) que ocorrem na coluna d'água de lagos e reservatórios. Dentre os componentes do balanço de calor na superfície da água, o fluxo de onda longa incidente se apresenta como um dos mais críticos de ser obtido, pois geralmente não há disponibilidade de dados observados, sendo usualmente estimado indiretamente por meio da fração de cobertura de nuvens (Henderson-Sellers, 1986; Reed; Stabeno, 2002). Nesse sentido, existem dois grandes grupos de métodos, comumente citados na literatura utilizados para estimar a fração de cobertura de nuvem: 1) os métodos baseados em observações *in situ* que utilizam dados de radiação de ondas curtas incidentes (p.ex., Reed; Stabeno, 2002), e 2) os métodos baseados em dados coletados por satélites (p.ex., Ackerman et al., 1998; Ackerman et al., 2010).

Os métodos baseados em observações *in situ* geralmente são concebidos e validados para uma dada região e para tipos específicos de nuvens, apresentando como limitação a dependência da radiação solar, o que inviabiliza a estimativa da fração de cobertura de nuvens para o período noturno. Além disso, tais métodos são baseados, em sua grande maioria, em observações pontuais que podem não ser representativas da área em estudo.

Por outro lado, as estimativas por sensoriamento remoto apresentam como principais vantagens a cobertura de grandes áreas, a observação de áreas de difícil acesso (p.ex. interior de grandes reservatórios localizados na Amazônia) e a coleta sistemática de dados. Todavia, as estimativas da fração de cobertura nuvem a partir de dados de sensoriamento remoto possuem limitações e incertezas, sendo necessária sua validação.

Com base no exposto, este trabalho tem como objetivos validar o produto *Cloud Mask* (MOD35L2, Ackerman et al., 2010) produzido utilizando dados coletados pelo *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS, Justice et al., 1998) para um reservatório localizado na Amazônia brasileira e analisar uma série temporal derivada do produto

MOD35L2 para identificar padrões e ciclos possivelmente presentes na fração de cobertura de nuvens sobre o reservatório.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo compreende o reservatório da Usina Hidrelétrica de Tucuruí (UHT), localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins Araguaia, estado do Pará, pertencente ao bioma da Amazônia (Figura 1). O clima na região possui estações bem definidas marcadas por um período mais seco entre os meses de junho a outubro cuja precipitação é, em média, abaixo de  $35 \text{ mm mês}^{-1}$ . Nos meses de novembro a abril há atuação de sistemas climáticos como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), resultando em um período chuvoso onde as precipitações podem ser superiores a  $400 \text{ mm mês}^{-1}$ .

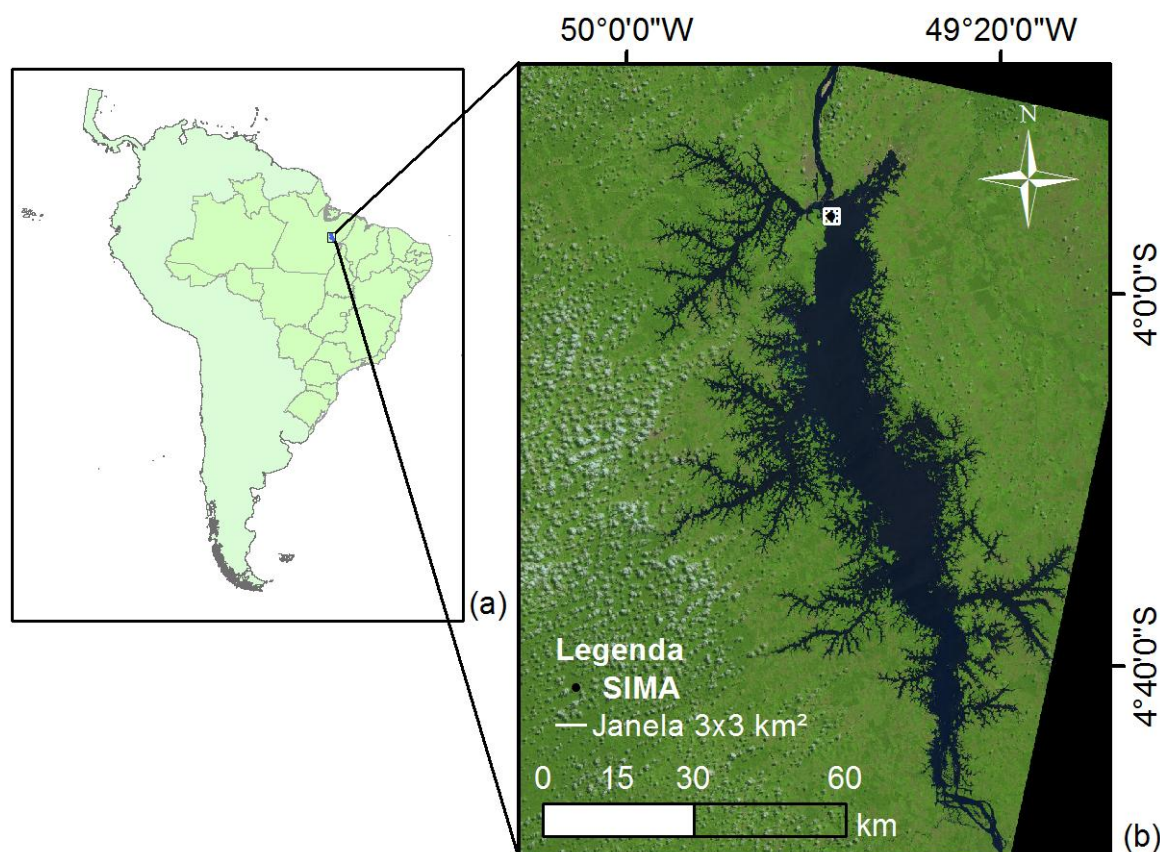


Figura 1. (a) América do Sul, Brasil, localização do Reservatório de Tucuruí no estado do Pará e (b) composição colorida (R4G3B2) Landsat-8/OLI da região de estudo.

### 2.2. O produto MOD35L2

O produto MOD35L2 é gerado diariamente e baseia-se em dados diurnos e noturnos de 22 canais do sensor MODIS a bordo da plataforma Terra. O algoritmo MOD35L2 baseia-se no princípio de que nuvens são geralmente caracterizadas por uma maior reflectância na região do visível e por temperaturas mais baixas do que a superfície da Terra. A distribuição do produto MOD35L2 é gratuita e pode ser requisitada no portal *Reverb* (disponível em: <http://reverb.echo.nasa.gov/>) da *National Aeronautic and Space Administration* (NASA) que possui dados disponíveis desde o ano 2000 até o presente.

O produto é distribuído em *Hierarchical Data Format* (HDF) com processamento em nível 2 possuindo calibração radiométrica e posicionamento em um sistema geodésico de referência. Sua resolução espacial ao nadir é de 1 km ou 250 m, sendo que esta última utiliza somente canais do visível em sua estimativa, estando disponível apenas para o período diurno.

Neste trabalho, foram utilizados 10 anos de dados diários com resolução espacial de 1 km para o período entre 1 de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2013. Das informações contidas em cada arquivo HDF, foi extraída a indicação do grau de confiança na detecção de cobertura de nuvens para cada pixel, sendo: seguramente limpo (confiança > 0.99), provavelmente limpo ( $0.99 \geq \text{confiança} > 0.95$ ), provavelmente com nuvens ( $0.95 \geq \text{confiança} > 0.66$ ) e seguramente com nuvens ( $\text{confiança} \leq 0.66$ ).

### 2.3. Estimativa da fração cobertura de nuvens utilizando o produto MOD35L2

Para estimativa da fração de cobertura de nuvens é necessário que o produto MOD35L2 possua precisão cartográfica para que seja possível localizar a região de estudo. Dessa forma, este produto foi processado no *software MODIS Reprojection Tool Swath* (MRT-Swath) juntamente com seu respectivo arquivo de geolocalização, fornecido no produto MOD03, que contém, para cada pixel MODIS, informações de coordenadas geodésicas, elevação do terreno e ângulos azimutal e zenital entre o satélite e o sol no momento de aquisição dos dados.

Tendo em vista que para o período em estudo foram utilizadas 13,528 imagens (considerando os produtos MOD35L2 e MOD03) para obter uma maior eficiência computacional, o processamento no MRT-Swath também realizou o recorte da área considerada na estimativa da fração de cobertura de nuvens, ou seja, uma janela de 9 km<sup>2</sup> (3x3 pixels) centrada na mesma posição geográfica do Sistema Integrado de Monitoramento Ambiental-SIMA (Stech et al., 2006) fundeado no reservatório (ver Fig. 1). Este processamento resultou em 6,764 imagens (compreendendo períodos diurnos e noturnos) que puderam então ser processadas no *software* MatLab®. Os pixels que se apresentaram livres de nuvens, i.e., pixels com nível de confiança maior que 95%, tiveram atribuído o valor numérico 0; por outro lado, os pixels que apresentaram evidência de cobertura de nuvens, i.e., pixels com nível de confiança menor ou igual a 95%, receberam o valor numérico 1. Dessa forma, foi obtida uma série temporal de fração de cobertura de nuvens ( $C_{MODIS}$ ), cujo valor corresponde à média aritmética dos nove pixels utilizados para cada imagem analisada. A fração de cobertura de nuvens média do dia foi obtida por meio da média simples entre a estimativa diurna e noturna de cada imagem.

### 2.4. Estimativa da fração de cobertura de nuvens utilizando dados *in situ*

Para validação do produto MOD35L2 foram utilizadas estimativas da fração de cobertura de nuvens obtidas a partir de dados coletados *in situ*. Neste caso foram utilizados dados de irradiância solar incidente na superfície da água, temperatura e umidade relativa do ar, coletados pelo SIMA fundeado no reservatório. O ano de 2013 foi selecionado para realizar a validação, visto que para este ano a série de dados *in situ* encontra-se sem falhas.

A fração média diária de cobertura de nuvens,  $C_{insitu}$ , pode ser estimada pela Equação 1 que tem sido amplamente empregada na modelagem da radiação de ondas longas (Reed; Staben, 2002).

$$C_{insitu} = \left( 1 + 0,0019 \alpha - \frac{Q_s}{Q_0} \right) 0,62^{-1} \quad (1)$$

onde  $\alpha$  (graus) é a elevação solar ao meio dia,  $Q_s$  (Joule m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) é a energia solar diária incidente na superfície integrada no tempo entre o nascer e o pôr do sol,  $Q_0$  (Joule m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) é a energia solar diária teórica incidente na superfície calculada para um dia de céu limpo, que pode ser estimada de acordo com Martin e McCutcheon (1999).

## 2.5. Avaliação do produto MOD35L2 diário

Para avaliar a fração de nuvens estimada com o produto MOD35L2 realizou-se a comparação deste com os valores estimados a partir dos dados *in situ*, através do cálculo do viés (Equação 2), do coeficiente de correlação linear ( $r$ ) (Equação 3) e do *Root Mean Square Error* (RMSE) (Equação 4):

$$Viés = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{MODIS} - C_{insitu}) \quad (2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N C_{MODIS} C_{insitu} - \sum_{i=1}^N C_{MODIS} \sum_{i=1}^N C_{insitu}}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^N C_{MODIS}^2 - (\sum_{i=1}^N C_{MODIS})^2][N \sum_{i=1}^N C_{insitu}^2 - (\sum_{i=1}^N C_{insitu})^2]}} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{MODIS} - C_{insitu})^2} \quad (4)$$

onde,  $N$  é o número de amostras utilizadas para a validação;  $C_{insitu}$  é a fração de cobertura de nuvens estimada com base nos dados *in situ* e  $C_{MODIS}$  é a fração de cobertura de nuvens estimado pelo produto MOD35L2.

## 2.6. Análise da série temporal da fração cobertura de nuvem

A análise wavelet é uma ferramenta comumente utilizada para a análise de variações locais de intensidade dentro de uma série temporal. Ao se decompor uma série temporal nos domínios do tempo e da frequência, é possível determinar os modos de variabilidade dominantes e como esses modos variam no tempo (Torrence; Compo, 1998).

A transformada wavelet (TW) pode ser usada para analisar séries temporais não estacionárias (Daubechies, 1990). Dessa forma, diferentemente da análise de Fourier, a análise wavelet é capaz de detectar comportamentos periódicos, porém não estacionários, comumente presentes nos fenômenos naturais (p.ex. na ocorrência de nuvens).

Neste trabalho foi utilizada a TW do tipo Morlet. A série temporal de fração de cobertura de nuvens, de 2004 a 2013, foi processada no *software* Past, versão 3.02, distribuído gratuitamente pela Universidade de Oslo. O algoritmo é baseado na convolução do sinal com a wavelet mãe em diferentes escalas, usando a transformada rápida de Fourier (Hammer, 2014).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Validação do produto MOD35L2 para a região de Tucuuruí

As frações de cobertura de nuvens  $C_{MODIS}$  e  $C_{insitu}$  para o ano de 2013, estimadas respectivamente pelo produto MOD35L2 e pela metodologia baseada em dados de campo, podem ser observadas na Figura 2. Percebemos que na média o produto consegue representar a tendência de menor presença de nuvens no período de inverno e maior presença no período de verão, característico do sistema de Monções presentes na região Amazônica, o que é coerente com demais estudos publicados (Alves et al., 2007; Asner, 2010).

O produto MOD35L2 em comparação com os dados *in situ* consegue reproduzir a variação média anual da cobertura de nuvens na região (valor-p = 0.05), entretanto, na comparação ao nível diário, observou-se que o produto MOD35L2 tende a superestimar os valores de cobertura de nuvem. Os valores de viés e RMSE foram respectivamente 0.65 e 0.72.

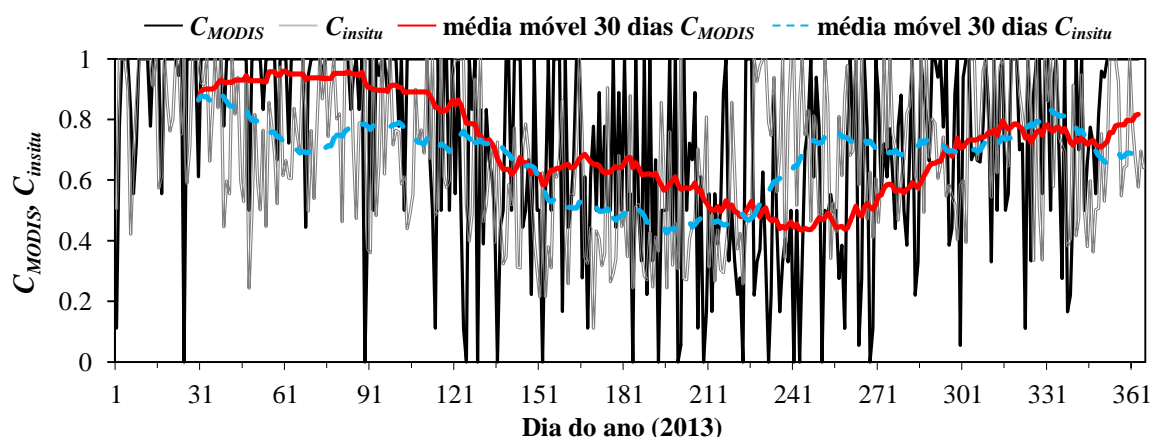


Figura 2. Frações de cobertura de nuvens estimada a partir do produto MOD35L2 ( $C_{MODIS}$ ) e a partir dos dados coletados *in situ* ( $C_{insitu}$ ) para o ano de 2013.

Ao analisar a Figura 3 percebemos que, a nível diário, a fração média de cobertura de nuvens  $C_{MODIS}$  praticamente não apresenta boa correlação ( $r = 0.19$ ) com  $C_{insitu}$ . Todavia, considerando que a cobertura de nuvens é um parâmetro bastante variável ao longo do dia, a baixa correlação provavelmente se deve ao fato de  $C_{insitu}$  ser estimado com dados horários de irradiância que foram integrados em todo o período diurno, enquanto  $C_{MODIS}$  foi derivado de apenas duas aquisições do sensor MODIS ao longo do dia, praticamente instantâneas, onde seu valor diário é a média destas.

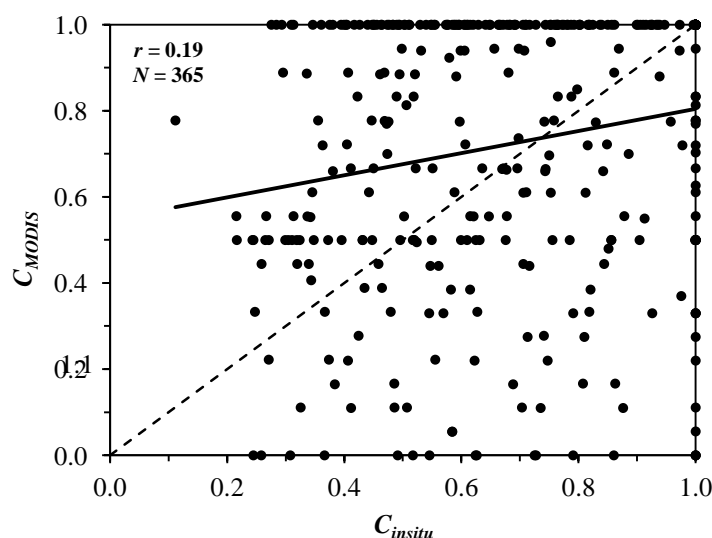


Figura 3. Gráfico de dispersão entre a fração média diária de cobertura de nuvens estimadas com o produto MOD35L2,  $C_{MODIS}$ , e com os dados *in situ*,  $C_{insitu}$ .

### 3.2. Análise temporal da fração cobertura de nuvem entre 2004-2013

A série temporal de 2004 a 2013 contendo dados diários de cobertura de nuvens do produto MOD35L2 está representada na Figura 4. Com o intuito de compreender a dinâmica temporal da cobertura de nuvens no reservatório de Tucuruí, sabendo que o produto reproduz razoavelmente bem a variabilidade intra-anual, foi aplicada a análise de wavelet no período mencionado.

A Figura 5 apresenta o resultado da TW aplicada à série temporal de fração de cobertura de nuvens gerada com o produto MOD35L2. Como resultado desta análise foram observados seis períodos que parecem ser os mais representativos da série analisada. O período de maior potência (I) possui valor de 362 dias estando relacionado ao ciclo anual. O segundo período

(II) possui valor 182 dias, estando principalmente relacionado às variações sazonais de inverno e verão e às variações na posição da ZCIT que, de acordo com Melo et al. (2002), apresenta um comportamento mais zonal entre julho e setembro sobre o Oceano Atlântico Tropical Norte quando atinge sua posição mais ao norte, iniciando seu deslocamento para o Hemisfério Sul entre novembro e dezembro.

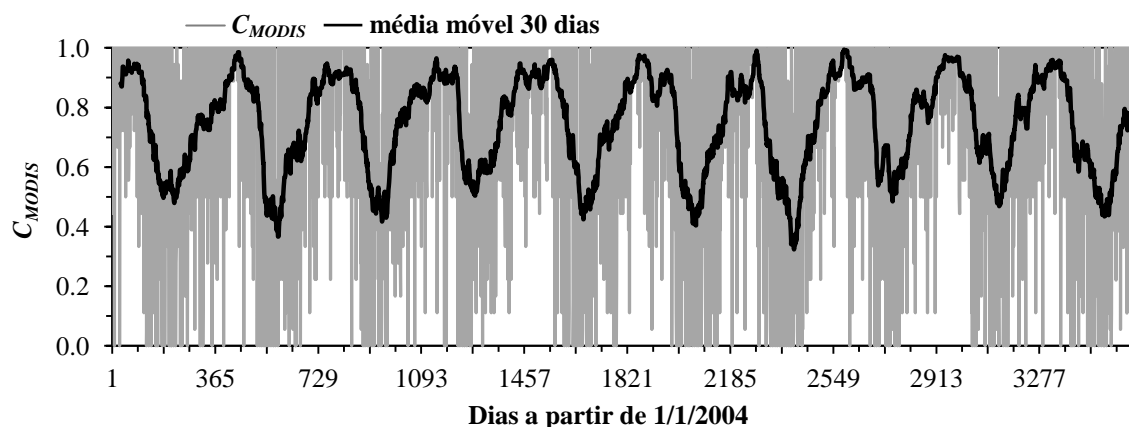


Figura 4. Fração diária de cobertura de nuvens estimada com o produto MOD35L2.

Podemos verificar uma oscilação intrassazonal com período entre 30 e 60 dias (III), podendo estar relacionado com a Oscilação de Madden-Julian (OMJ), o que corrobora com o estudo de Souza e Ambrizzi (2006) que mostra que a OMJ é o principal mecanismo atmosférico modulador das variações pluviométricas na escala intrassazonal na porção leste da Amazônia e Nordeste do Brasil. O quarto período (IV) possui valor de 22 dias e ocorre nos meses de verão podendo estar relacionado à ZCAS conforme estudos de Castro (2002) e Liebmann et al. (1999).

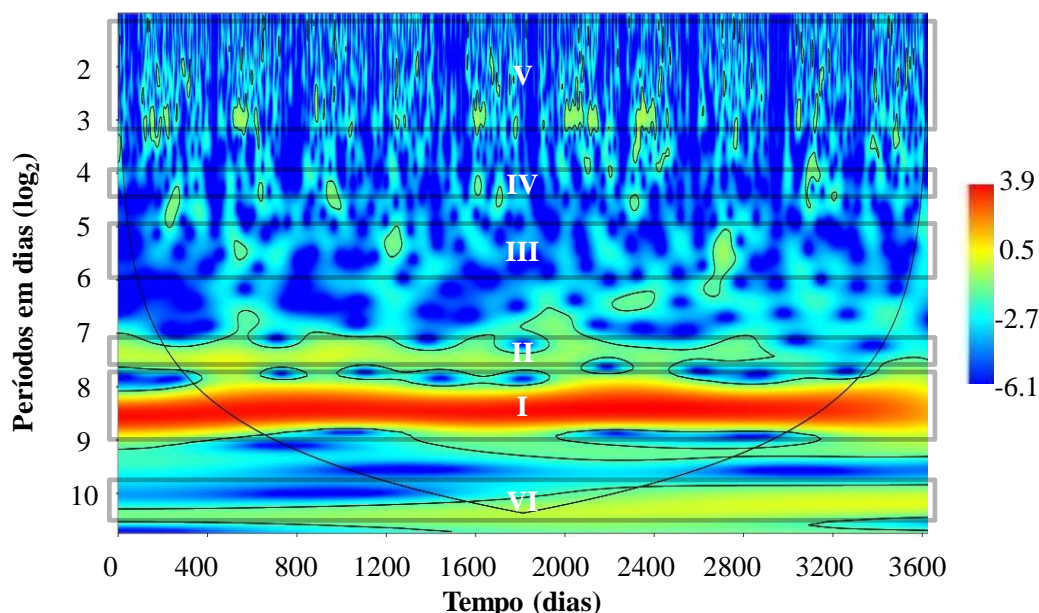


Figura 5. Análise wavelet da fração cobertura de nuvens entre 01/01/2004 e 31/12/2013, o eixo vertical mostra o período de ocorrência do fenômeno cuja escala de visualização é logarítmica de base 2. O eixo horizontal representa os dias da série temporal. A escala de cores representa a intensidade do sinal e as regiões contornadas pelas linhas em preto mostram o nível de significância correspondente a valor-p=0.05 (teste qui-quadrado). A linha em formato de cone indica a região abaixo da qual há efeitos de fronteira. I-VI indicam os principais períodos identificados na série temporal.

O quinto período identificado (V), que varia de 2 a 8 dias, pode ser devido à oscilações na região de influência dos ventos alísios causando alteração em seu campo de pressão e vento favorecendo a formação de nebulosidade, ou seja, a propagação de ondas de leste conforme indicado em Coutinho e Fish (2007). Além disso, Siqueira e Machado (2004) relatam que este período pode estar relacionado à entrada de sistemas frontais na Amazônia, porém estes autores destacam que a entrada desses sistemas frontais pode induzir ou favorecer as oscilações, mas não necessariamente são a causa primeira.

Vale destacar o período correspondente a 4,2 anos (VI), que pode estar relacionado à ocorrência de *El Niño* e de *La Niña*, conforme relatado em Alves (2007). Contudo, este período encontra-se fora do cone de influência da análise wavelet que, apesar de ser um sinal significativo, não permite detectar maiores detalhes devido ao tamanho da série temporal.

#### 4. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar o produto MOD35L2 utilizando dados observados *in situ* e aplicar a análise wavelet para identificar padrões e ciclos possivelmente presentes na série temporal de cobertura de nuvens do produto MOD35L2 entre 2004 e 2013. As estimativas fornecidas pelo produto de satélite apresentaram fraca correlação linear com as estimativas obtidas com os dados observados *in situ*, porém são capazes de reproduzir o regime sazonal de nuvens de maneira razoável.

A análise wavelet identificou seis períodos associados à série de dados, permitindo a associação destes períodos a fenômenos meteorológicos que ocorrem na região Amazônica.

Para melhorar o resultado de validação do produto MOD35L2 sugere-se utilizar também os dados do produto MYD35L2, assim como utilizar outros modelos para estimar a radiação solar na superfície em condição de céu limpo, como, por exemplo, os modelos apresentados por Annear e Wells (2007).

#### Agradecimentos

D.A.C agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela cessão da bolsa de mestrado (processo 132969/2014-9). M.P.C agradece ao CNPq pela cessão da bolsa de doutorado (processo 161233/2013-9). Os autores agradecem a Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização de infraestrutura para realização do trabalho.

#### Referências

- Ackerman, S. A.; Strabala, K. I.; Menzel, W. P.; Frey, R. A.; Moeller, C. C.; Gumley, L. E. Discriminating clear sky from clouds with MODIS. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24, p. 32141–32157, 1998.
- Ackerman, S.; Frey, R.; Strabala, K.; Liu, Y.; Gumley, L.; Baum, B.; Menzel, P. **Discriminating clear sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document (MOD35)**. EOS ATBD, v. 6.1, p. 1-121, 2010. Disponível em: <[http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/\\_docs/MOD35\\_ATBD\\_Collection6.pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/_docs/MOD35_ATBD_Collection6.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2014.
- Alcântara, E. H.; Stech, J. L.; Lorenzetti, J. A.; Bonnet, M. P.; Casamitjana, X.; Assireu, A. T.; Novo, E. M. L. M. Remote sensing of water surface temperature and heat flux over a tropical hydroelectric reservoir. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2651-2665, 2010.
- Alves, M. A. S.; Machado, L. A. T.; Prasad, G. S. S. D. Estudo da variabilidade da cobertura de nuvens altas na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 71 – 80, 2007.
- Annear, R. L.; Wells, S. A. A. Comparison of five models for estimating clear-sky solar radiation. **Water Resources Research**, v. 43, 2007.
- Asner, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2010.

- Castro, C.A.C. **Interações Trópicos-Extratropicos na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. 2002. 158p. (INPE-16604-TDI/1590). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.
- Coutinho, E. C.; Fish, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do centro de lançamento de Alcântara-MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.
- Curtareli, M. P.; Alcântara, E.; Renó, C. D.; Assireu, A. T.; Bonnet, M. P.; Stech, J. L. Modelling the surface circulation and thermal structure of a tropical reservoir using three dimensional hydrodynamic lake model and remote sensing data. **Water and Environment Journal**, v. 28, n. 4, 2013.
- Daubechies, I. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. **IEEE Transactions on Information Theory**, v. 36, p. 961–1004, 1990.
- Hammer, Ø. **Manual of Paleontological Statistics (PAST) Version 3.02**. Natural History Museum, University of Oslo, 2014. Disponível em: <<http://folk.uio.no/ohammer/past/past3manual.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2014.
- Henderson-Sellers, B. Calculating the surface energy balance for lake and reservoirs modeling: a review. **Reviews of Geophysics**, v. 24, n. 3, p. 625–649, 1986.
- Justice C. O.; Vermote, E.; Townshend, J. R. G.; Defries, R.; Roy, D. P.; Hall, D. K.; Salomonson, V. V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, R. B.; Knyazikhin, Y.; Running, S. W.; Wan, Z.; Huete, A. R.; Leeuwen, W.; Wolfe, R. E.; Giglio, L.; Muller, J. P.; Lewis, P.; Barnsley, M. J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p.1228-1247, 1998.
- Liebmann, B.; Kiladis, G.; Marengo, J. A.; Ambrizzi, T.; Glick, J. Submonthly Convective Variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1877-1891, 1999.
- Martin, J. L; McCutcheon, S. C. **Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling**. Florida: Lewis Publishers, 1999. 694 p.
- Melo, A. B. C.; Nobre, P.; Mendes, D.; Bottino, M. J. A. Zona de Convergência Intertropical sobre o Oceano Atlântico. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 12, 2002, Foz de Iguaçú, **Anais...** Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/11-ca2ceab51d628883e4192023675150e6.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2014.
- Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- Reed, R. K.; Stabeno, P. J. Surface heat fluxes and subsurface heat content at a site over the southeastern Bering Sea shelf, May–July 1996. **Deep-Sea Research II**, n. 49, p. 5911–5917, 2002.
- Siqueira, J. R.; Machado, L. A. T. Influence of the Frontal Systems on the day-to-day Convection Variability over South America. **Journal of Climate**, v. 17, p.1754-1766, 2004.
- Souza, E. B.; Ambrizzi, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759–1776, 2006.
- Stech, J.L.; Lima, I.B.T.; Novo, E.M.L.M.; Silva, C.M.; Assireu, A.T.; Lorenzetti, J.A.; Carvalho, J.C.; Barbosa, C.C.F.; Rosa, R.R. Telemetric monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, v. 29, p. 1747–1750, 2006.
- Torrence, C.; Compo, G. P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.
- Tundisi, J. G.; Matsumura-Tundisi, T.; Arantes, J. J. D.; Tundisi, J. E. M.; Manzini, N. F.; Ducrot, R. The response of Carlo Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold front as reflected by physical, chemical and biological variables. **Brazilian Journal of Biology**, n. 64, n. 1, p. 177-186, 2004.