

Estudo preliminar da periodicidade da espessura óptica de aerossóis estimada por satélite sobre o Brasil

Lianet Hernández Pardo¹
Simone Sievert da Costa¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC
CEP 12630-000 – Cachoeira Paulista - SP, Brasil
lianet.pardo, simone.sievert@cptec.inpe.br

Abstract. Atmospheric aerosols are involved in several climate and weather processes. In Brazil, aerosol particles are often released by biomass burning in the Amazon forests and they are also redistributed toward far regions by winds. Thereby, this components influence is spread out through the entire south-American continent. The evolution of the aerosol content in the air column depends on a combination of atmospheric state and source factors. In this paper, Aerosol Optical Depth periodicity is analyzed in three Brazilian locations: Alta Floresta, Rio Branco and São Paulo. To perform that, DSA-CPTEC/INPE MODIS retrievals were employed. Continuous Wavelet Transform through Morlet Wavelet was applied on six years Aerosol Optical Depth monthly means data for determining its frequency components. In analyzed locations, same frequency significant oscillations were detected, even though appreciable difference was shown in the amplitude of São Paulo's ones when comparing with the others places, due to the distance from Amazon basin. Seasonal and annual fluctuations, and also 18 and 30 months periods were found.

Keywords: aerosol content oscillations, Continuous Wavelet Transform, frequency components .

Palavras-chave: oscilações do conteúdo de aerossóis, Transformada de Ondeletas, componentes de frequência .

1. Introducción

La influencia de los aerosoles sobre el sistema climático, tanto a escala regional como global, ha sido estudiada durante muchos años. Estos componentes ejecen un efecto directo sobre el clima al interactuar con la radiación solar, e indirecto, por su rol en la formación de nubes (CHARLSON et al., 1992; KAUFMAN, 1995; ROSENFELD, 1999; ANDREAE et al., 2004).

En América del Sur, de julio a octubre, la principal fuente de aerosoles radica en los incendios en la Amazonia (ANDREAE et al., 1991; ARTAXO et al., 2001; ALMEIDA FILHO, 2011). Sin la intervención humana, la concentración de aerosoles en la Amazonia es baja y proviene principalmente de fragmentos de hojas, granos de polen, esporas de hongos, etc (primarios) y de las reacciones químicas que generan partículas a partir de compuestos orgánicos volátiles (secundarios). Además, una pequeña fracción corresponde al transporte de polvo del Sahara que ocurre típicamente en los meses de abril y mayo (KOREN et al., 2006; PAULIQUEVIS et al., 2007). Durante los incendios, en la región afectada se alcanzan concentraciones de material particulado de 400 a 600 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, valores muchas veces superiores a los observados en invierno en São Paulo (ARTAXO et al., 2001; FUZZI et al., 2007). De acuerdo con Castanho (1999), en la región metropolitana de São Paulo, las principales fuentes de aerosoles son: el polvo del suelo, la emisión de los vehículos y la actividad industrial. Además, diversos autores señalan el transporte de partículas provenientes de los incendios en la Amazonia como una fuente adicional (LANDULFO et al., 2003; CASTANHO, 2005).

La cantidad de aerosoles en una columna de aire depende de dos factores fundamentales: la emisión y el estado de la atmósfera. La variabilidad de estos elementos resulta en diferentes tendencias de espesor óptico de aerosoles (AOD, del inglés *Aerosol Optical Depth*) según distintas escalas temporales y espaciales (POWER, 2003; ANDREWS et al., 2011).

Ramachandran et al. (2013) estudiaron las oscilaciones en el AOD sobre la India utilizando la Transformada *Wavelet* Continua (CWT, del inglés *Continuous Wavelet Transform*) aplicada a datos inferidos con el sensor MODIS a bordo del satélite Terra. Hallaron componentes con períodos de 5-6 meses y 40 meses, respectivamente, en adición a las oscilaciones anual y cuasi-bienal.

Las funciones *Wavelets* han destacado en el panorama científico en las últimas décadas como una alternativa muy útil al análisis de Fourier (DAUBECHIES et al., 1992). Con amplia aplicación en el tratamiento digital de imágenes y de señales, una de las ventajas de su uso radica en la posibilidad de localizar los detalles de interés en intervalos de tiempo y de escala. Trabajos como los de Kumar y Foufoula-Georgiou (1997) y Torrence y Compo (1998) ofrecen información sobre el uso de las *Wavelets* en el campo de la geofísica.

Este trabajo presenta un análisis preliminar de la periodicidad del AOD sobre algunas localidades brasileñas, que podría ser útil en la determinación de la relación causa-efecto entre los incendios forestales y las variaciones en el clima de la región.

2. Metodología de trabajo

Para este estudio se usaron datos de AOD en 550 nm generados por el algoritmo de la DSA-CPTEC/INPE (Divisão de Satélites y Sistemas Ambientais - Centro de Previsão de Tempo y Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil) de inferencia de contenido de aerosoles por el sensor MODIS (CORREIA, 2006).

Los lugares escogidos para el análisis fueron: Alta Floresta (9.876 S; 56.086 W), en el estado brasileño de Mato Grosso; Rio Branco (9.975 S; 67.81 W), en Acre y São Paulo (23.548 S; 46.636 W), capital del estado del mismo nombre. Estos puntos se encuentran en diferente posición con respecto al foco de aerosoles constituido por los incendios en la región amazónica, por lo que brindan la posibilidad de analizar diferentes situaciones.

Siguiendo la metodología implementada por Ramachandran et al. (2013), se usó la CWT, a través de la función *Wavelet* de Morlet (Ecuación 1):

$$\psi(x) = Ce^{-\frac{x^2}{2}} \cos(5x) \quad (1)$$

La CWT se basa en el cálculo del producto interno entre la función (continua o discreta) que se quiere estudiar y las versiones trasladadas y comprimidas/expandidas de la *Wavelet* elegida, para dar una medida de la semejanza entre ellas (Ecuación 2):

$$CWT(a, b) = \sum_{i=1}^{N-1} x_i \psi^*\left(\frac{b-i}{a}\right) \quad (2)$$

El resultado es una función de dos variables, a y b, que determinan la escala y la posición en el dominio, respectivamente.

La CWT fue calculada para promedios mensuales de AOD sobre Alta Floresta, Rio Branco y São Paulo, desde 2004 hasta 2010, utilizando el *Wavelet Toolbox* del *software* Matlab.

Como herramienta para la interpretación de los resultados se utilizaron "escalogramas", gráficos que representan el "porcentaje de energía" de cada coeficiente CWT(a,b), calculado como:

$$SC(a, b) = 100 \times \frac{S(a, b)}{\sum_a \sum_b S(a, b)} \quad (3)$$

donde

$$S(a, b) = abs(CWT(a, b))^2 \quad (4)$$

3. Resultados y discusión

En primer lugar, se procedió a analizar la tendencia del AOD durante el período estudiado en las tres localidades. En Alta Floresta y Rio Branco, el comportamiento temporal del AOD fue semejante: se

alcanzaron valores máximos por encima de la unidad en los meses finales de la estación seca; mientras que en São Paulo esta magnitud fue más estable y no excedió el valor de 0,5 (Figura 1).

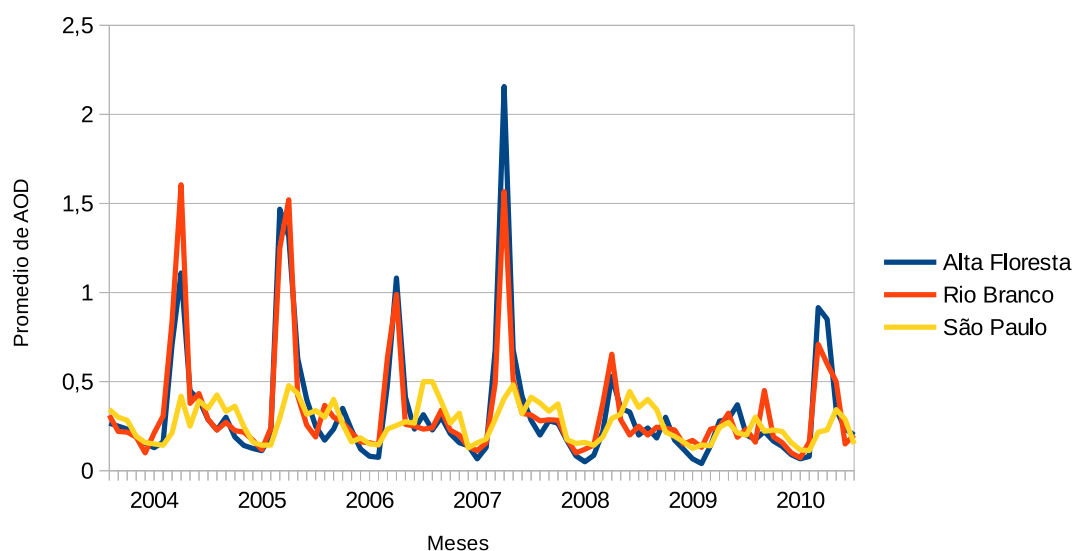


Figure 1: Promedio mensual de AOD em 550 nm sobre los lugares de interés durante el período 2004-2010

Para determinar si la diferencia antes mencionada se refleja en la frecuencia de las componentes fundamentales, se comparó el resultado obtenido en cada caso después de aplicar la CWT (Figura 2).

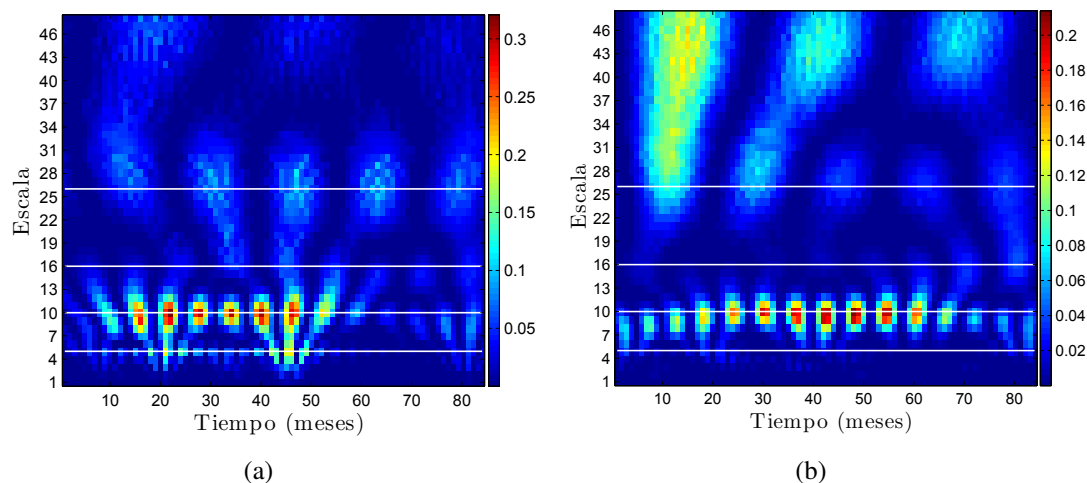


Figure 2: Escalogramas de la CWT aplicada a las series de promedios mensuales de AOD en 550 nm en: a) Alta Floresta y b) São Paulo. Las líneas blancas resaltan las escalas donde los coeficientes tienen valores mayores.

La extensión temporal de las series de datos empleadas limita la escala máxima en que la CWT ofrece información útil, pues no tiene sentido estudiar las escalas donde el período de las oscilaciones representadas sea mayor que la mitad del largo de la serie. En este caso, los resultados se pueden considerar confiables hasta la escala 30 aproximadamente.

Se determinó que las oscilaciones predominantes en el contenido de aerosoles sobre las regiones de estudio eran aquellas con períodos de aproximadamente 6, 12, 18 y 30 meses. Las dos primeras,

oscilaciones estacionales y anuales, coinciden con el resultado de Ramachandran et al. (2013), y son consistentes con lo argumentado por Almeida Filho (2011) para el caso de Alta Floresta y Rio Branco. Mientras Ramachandran et al. (2013) describen el hallazgo de oscilaciones cuasi-bienales (24 meses) claramente perceptibles, en este caso, no fue detectable.

De una localidad a otra, las componentes oscilatorias principales reflejan cambios significativos en su amplitud, pero no en su frecuencia (escala). En los escalogramas se evidencia que las oscilaciones detectadas en el AOD sobre Alta Floresta también se encuentran en São Paulo, aunque menos marcadas, sobre todo en las escalas 6 y 16 (Figura 2). El hecho de que en São Paulo las oscilaciones en la escala 6 (estacionales) sean poco perceptibles concuerda con la tendencia estable mostrada en la figura 1.

La CWT presenta valores altos en las escalas correspondientes a las frecuencias de las componentes oscilatorias principales de la función analizada. Estos valores son positivos para las traslaciones que hacen que la *Wavelet* y dicha función estén en fase y negativos en el caso opuesto, adquiriendo, por tanto, un patrón sinusoidal (Figura 3).

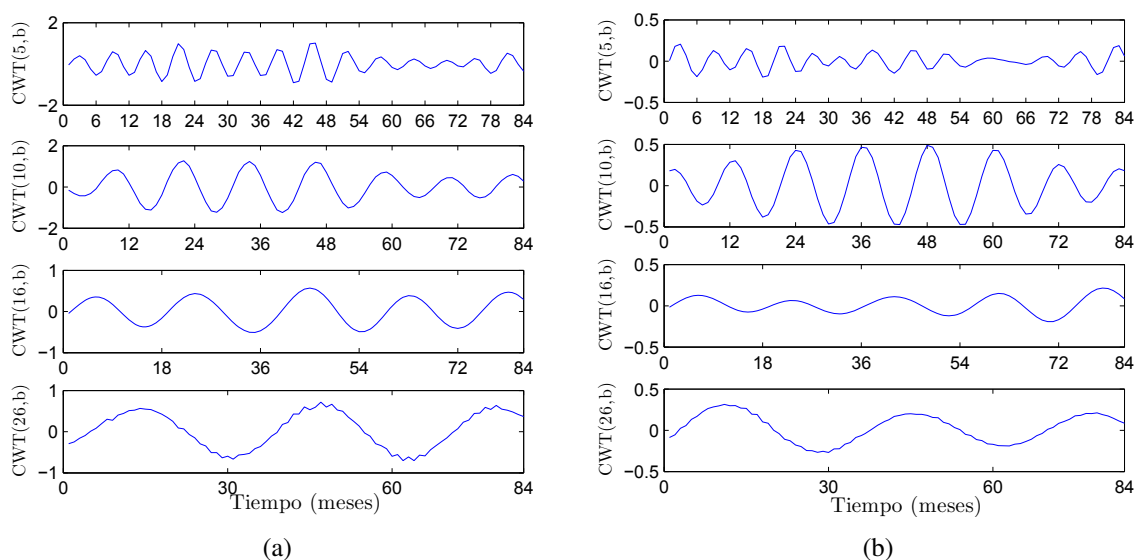


Figure 3: Valores de la CWT en las escalas donde alcanza los principales máximos relativos: a) Alta Floresta, b) São Paulo

De la figura 3 se deduce que las oscilaciones en el contenido de aerosoles en las diferentes localidades estudiadas están aproximadamente en fase.

4. Conclusiones

Con este trabajo se lograron resultados preliminares con relación a la periodicidad del AOD sobre Brasil gracias a la aplicación de la Transformada *Wavelet* Continua a datos inferidos del sensor MODIS. En los tres municipios analizados, se encontraron componentes oscilatorias en los mismos intervalos de frecuencia, solo diferenciadas de forma significativa en su amplitud. En adición a las fluctuaciones estacionales y anuales, se hallaron otras con períodos de 18 y 30 meses, en contraposición a las oscilaciones cuasi-bienales descritas en la literatura precedente. Para profundizar la investigación se recomienda estudiar los mecanismos generadores de estas componentes de frecuencia, así como aplicar la metodología empleada a otras regiones de interés, aumentando el largo de la serie de datos.

Agradecimientos

Lianet Hernández agradece a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por el apoyo financiero brindado.

Referências

- ALMEIDA FILHO, E. O. de. *Variabilidade sazonal e temporal das propriedades ópticas de aerossóis atmosféricos na Amazônia*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.
- ANDREAE, M. O. et al. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. *Global biomass burning: Atmospheric, climatic and biospheric implications*, Cambridge, MA: MIT Press, p. 3–21, 1991.
- ANDREAE, M. O. et al. Smoking rain clouds over the amazon. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 303, n. 5662, p. 1337–1342, 2004.
- ANDREWS, E. et al. Climatology of aerosol radiative properties in the free troposphere. *Atmospheric Research*, Elsevier, v. 102, n. 4, p. 365–393, 2011.
- ARTAXO, P. et al. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry season in rondônia, amazonia. *Journal of Geophysical Research*, submitted, 2001.
- CASTANHO, A. *Propriedades ópticas das partículas de aerossol e uma nova metodologia para a obtenção de profundidade óptica via satélite sobre São Paulo*. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- CASTANHO, A. D. de A. *A Determinação Quantitativa de Fontes de Material Particulado na Atmosfera da Cidade de São Paulo*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 1999.
- CHARLSON, R. J. et al. Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 255, n. 5043, p. 423–430, 1992.
- CORREIA, A. Monitoring aerosol optical depth using modis over brazil and south america. In: *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. [S.l.: s.n.], 2006.
- DAUBECHIES, I. et al. *Ten lectures on wavelets*. [S.l.]: SIAM, 1992.
- FUZZI, S. et al. Overview of the inorganic and organic composition of size-segregated aerosol in rondônia, brazil, from the biomass-burning period to the onset of the wet season. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)*, Wiley Online Library, v. 112, n. D1, 2007.
- KAUFMAN, Y. Remote sensing of direct and indirect aerosol forcing. *Aerosol forcing of climate*, J. Wiley and Sons, p. 297–332, 1995.
- KOREN, I. et al. The bodélé depression: a single spot in the sahara that provides most of the mineral dust to the amazon forest. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 1, n. 1, p. 014005, 2006.
- KUMAR, P.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Wavelet analysis for geophysical applications. *Reviews of Geophysics*, Wiley Online Library, v. 35, n. 4, p. 385–412, 1997.
- LANDULFO, E. et al. Synergetic measurements of aerosols over sao paulo, brazil using lidar, sunphotometer and satellite data during the dry season. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Copernicus GmbH, v. 3, n. 5, p. 1523–1539, 2003.
- PAULIQUEVIS, T. et al. O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. *Ciência e Cultura*, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 59, n. 3, p. 48–50, 2007.
- POWER, H. C. The geography and climatology of aerosols. *Progress in physical geography*, Sage Publications, v. 27, n. 4, p. 502–547, 2003.
- RAMACHANDRAN, S. et al. Multiscale periodicities in aerosol optical depth over india. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 8, n. 1, p. 014034, 2013.

ROSENFELD, D. Trmm observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophysical research letters*, Wiley Online Library, v. 26, n. 20, p. 3105–3108, 1999.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological society*, v. 79, n. 1, p. 61–78, 1998.