

TRANSFORMADA EM ONDELETAS APLICADA AO ESTUDO DE TRANSIÇÃO VESPERTINA NO ESCOAMENTO ACIMA DA FLORESTA DE CAXIUANÃ, PA

Cintya A. Martins¹; Leonardo D. A. Sá²; Osvaldo L. L. Moraes¹; Taiane Prass¹

Laboratório de micrometeorologia

Departamento de Física

⁽¹⁾Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, RS – Brasil

⁽²⁾CPTEC-INPE/ Museu Emilio Goeldi – Belém, PA – Brasil

1. Resumo

Os estudos da camada limite noturna (CLN) têm ganhado um novo impulso com os resultados do Experimento CASES-99, dentre outros. Um aspecto ainda pouco abordado, refere-se à investigação da estrutura da camada limite atmosférica (CLA) no período de transição tarde-noite (Transição Vespertina) acima da floresta. É o que se pretende efetuar neste estudo, através da aplicação da análise dos sinais turbulentos em tempo-escala propiciada pela Transformada em Ondeletas (TO) para investigar características espectrais e co-espectrais de fenômeno de rajada, comum nos inícios de noite, no sítio experimental da Floresta de Caxiuanã, PA. Os dados foram obtidos no período de março a outubro de 2005 com instrumentos de resposta rápida amostrados a uma taxa de 10Hz, instalados no topo de torre meteorológica de 54m.

2. Introdução

Ainda que a CLN tenha sido objeto de muitas análises baseadas na Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov e de suas variantes (Sorbján, 1989), recentemente os dados proporcionados pelo grande esforço experimental desenvolvido no CASES-99 (Poulos et al., 2002) assim como investigações da transição vespertina (Acevedo e Fitzjarrald, 1999) e da ação dos jatos de baixos níveis na mistura de “cima para baixo” da atmosfera inferior (Mahrt, 1999), chamam a atenção para aspectos novos da evolução da CLN. Dentre fenômenos interessantes associados a modificações bruscas e de curta duração na CLN, destacam-se os resultados de Sun et al. (2002; 2004) relacionados aos efeitos de correntes de densidade, ondas isoladas e interação de ondas de gravidade com a turbulência. Nogueira et al. (2005) estenderam tal tipo de investigação à CLN acima da Floresta de Caxiuanã e constataram ser freqüente a ocorrência de fortes rajadas de vento no início da noite, durante curtos intervalos de tempo (inferiores a 15min) quando há intensa atividade de troca turbulenta. A finalidade do presente estudo é a de investigar um caso de rajada em Caxiuanã utilizando para isto a análise em tempo-escala proporcionada pela TO. Com isto, determinam-se características espectrais e co-espectrais da turbulência durante tais eventos.

3. Transformada de Ondeleta (TO)

A TO é uma ferramenta matemática que permite análise em tempo e escala de um sinal utilizando-se de funções analíticas localizadas no tempo, as ondeletas (Daubechies, 1992). A decomposição em escala é obtida dilatando ou contraindo a ondeleta utilizada, e então fazendo a convolução desta com o sinal (Farge, 1992). A função de Morlet é complexa, e fornece muitas informações sobre o sinal, tais como, módulo de L^2 que mostra a densidade de energia, a fase em cada instante e as partes real e imaginária dos coeficientes de ondeletas (Farge, 1992).

4. Descrição Experimental

Os dados usados neste trabalho foram coletados na Floresta Nacional de Caxiuanã, tendo os dados sido medidos durante os meses de março a outubro de 2005. No caso deste estudo, trabalhou-se com dados do dia juliano 208. Caxiuanã é uma reserva florestal localizada no leste do Pará ($1^{\circ}42'30''S, 51^{\circ}31'45''W$), no município de Melgaço. Durante o experimento, os dados foram coletados por sensores de resposta rápida (10HZ) das três componentes do vento, temperatura, umidade específica e concentração de CO_2 . As medidas das componentes da velocidade do vento e da temperatura foram realizadas com anemômetro sônico tridimensional da Campbell, modelo CSAT3, e os de umidade específica e concentração de CO_2 com medidores LICOR, modelo 6262, os quais estavam instalados na altura de 54m na torre e acoplados a um sistema de aquisição de dados do datalogger CRX10 da Campbell. Da série temporal escolhida para análise (16:00h às 20:30h) foi destacado um período especial (da ordem de 10000s) durante o qual observou-se fenômeno de rajada intensa. Efetuaram-se também análises das variáveis de velocidade da componente longitudinal do vento, temperatura, umidade, não apresentadas aqui. A escolha de uma ondeleta complexa contínua, no caso, a de Morlet, deu-se em função dos objetivos estritos de visualização das projeções. Futuramente em abordagem mais voltada para os aspectos quantitativos dos resultados, será utilizada uma ondeleta discreta ortogonal.

5. Resultados e Discussões

Procurou-se determinar características co-espectrais do fluxo de CO_2 durante um intenso episódio de rajada, com duração inferior a 20min, ocorrido durante o DJ 208 e após às 19 horas (hora local). Será mostrado o sinal da concentração de CO_2 (figura 1(a)) das 16:00 às 20:30 horas e a flutuação intensa observada em torno das 19:00 horas (foi também observada nos sinais de vento, umidade e temperatura, não apresentados aqui). Ainda, há a apresentação do escalograma (gráfico tridimensional, com o tempo nas abscissas, escala temporal nas ordenadas e valor do coeficiente resultante da análise de ondeletas, associado as cores mais ou menos intensas), na parte inferior (figura 1(a)), o qual indica claramente a manifestação em tempo-escala da rajada. Com a finalidade de investigar quantitativamente a contribuição em escala para fluxos de CO_2 e determinar as escalas em que houve maior contribuição efetiva, são mostrados os gráficos (figura 1(b) até 1(d)), que representam os produtos das projeções de w' e c' (onde c' é a flutuação de CO_2) nas escalas temporais de 22,5s, 17s e 13,6s. Ressalta-se que neste intervalo de escalas a soma das contribuições foi notoriamente positiva, o

que não foi verificado nas escalas superiores a 22,5s e inferiores a 13,6s, onde a somatória das contribuições foi aproximadamente nula. Ressalta-se, também, que o mesmo procedimento foi estendido às flutuações de $w'q'$ e $w'T'$, no mesmo intervalo de tempo. Os resultados para $w'q'$ foram similares aos de $w'e'$, contrariamente ao observado para os fluxos de calor sensível ($w'T'$), que apresentam valores predominantemente negativos.

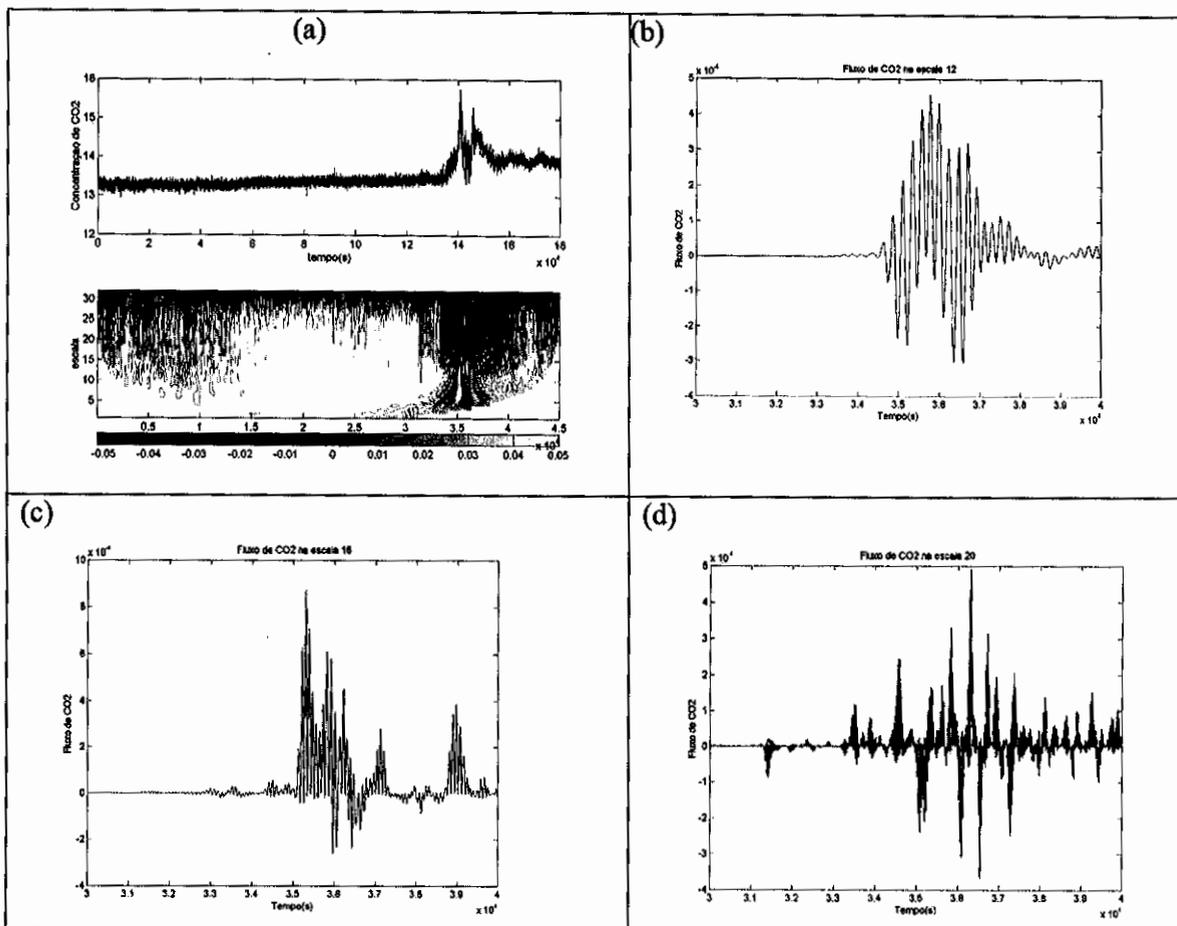


Figura 1. (a) Sinal bruto de CO₂ e análise de ondeleta em tempo-escala da parte real do coeficiente de CO₂; (b) projeção da ondeleta de Morlet na escala 12 do fluxo de CO₂; (c) projeção da ondeleta de Morlet na escala 16 do fluxo de CO₂; (d) projeção da ondeleta de Morlet na escala 20 do fluxo de CO₂;

6. Conclusões

Utilizou-se a Transformada em Ondeletas de Morlet, sendo possível estudar qualitativamente um episódio de rajada noturna em Caxiuaná, PA. Os resultados mostram intensos fluxos positivos de CO₂ e vapor d'água, bem como fluxos negativos de calor sensível, cujas contribuições estão confinadas nas escalas temporais entre 22,5s e 13,6s.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pelo MCT e CNPq/PADCT, através do Instituto do Milênio, com os Projetos nº 62.0056/01-0, e nº 62.0065/01-0, e pela FADESP/SECTAM/PRONEX, contrato nº 1082. Cintya Martins agradece à CAPES pela bolsa de doutoramento; Leonardo Sá e Osvaldo Moraes agradecem ao CNPq (pelas bolsas de produtividade em pesquisa, processo 306769/2004-2 e pelos auxílios proporcionados pelo Edital Universal, processo 481340/2004-1); Taiane Prass agradece ao CNPq pela bolsa de iniciação científica. Os autores agradecem ao Museu Paraense Emílio Goeldi que proporcionou todas as facilidades para o bom andamento deste experimento, ao LIM-CPTEC-INPE e ao Departamento de Meteorologia da UFPA pelo apoio às atividades experimentais em Caxiuanã.

Referências

- Acevedo, O. C. and Fitzjarrald, D. R.: The early evening surface-layer transition: Temporal and Spatial Variability. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.58, n. 17, p. 2650-2668, Sept, 2001.
- Daubechies, I.: **Ten lectures on wavelets**. SIAM, 1992, p. 278-285.
- Farge, M.: The Wavelet Transform and its applications to turbulence. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 24, p. 395-457, 1992.
- Mahrt, L.: Stratified Atmospheric Boundary Layers. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 90, 375-396, 1999.
- Nogueira, D. S.; Sá, L. D. A.; Cohen, J. C. P.: Rajadas Noturnas e Trocas de CO₂ Acima da Floresta de Caxiuanã, PA, Durante a Estação Seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, submetido em maio de 2005.
- Poulos, G. S.; Blumen, W.; Fritts, D.C. Lundquist, J. K.; Sun, J.; Burns, S. P.; Nappo, C.; Banta, R.; Newsom, R.; Cuxart, J.; Terradellas, E.; Balsley, B.; Jensen, M. CASES-99.: A comprehensive investigation of the stable nocturnal boundary layer. **American Meteorological Society**, Apr, 2002.
- Sorbjan, Z. **Structure of the atmospheric boundary layer**. London: Prentice-Hall, 317p, 1989.
- Sun, J.; Burns, S. P.; Lenschow, D. H.; Banta, R.; Newsom, R.; Coulter, R.; Frasier, S.; Ince, T.; Nappo, C.; Cuxart, J.; Blumen, W.; Lee, X.; Hu, X.: Intermittent turbulence associated with a density current passage in the stable boundary layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 105, 199-219, 2002.
- Sun, J.; Burns, S. P.; Lenschow, D. H.; Banta, R.; Newsom, R.; Coulter, R.; Frasier, S.; Ince, T.; Nappo, C.; Balsley, B. B.; Jensen, M.; Mahrt, L.; Miller, D.; Skelly, B.: Atmospheric disturbances that generate intermittent turbulence in nocturnal boundary layer. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 110, 255-279, 2004.

