

## FENÔMENOS EXTREMOS E SEUS EFEITOS NOS FLUXOS DE ESCALARES NA CAMADA LIMITE ESTÁVEL: ANÁLISE EXPANDIDA PARA DIFERENTES SÍTIOS EXPERIMENTAIS NA AMAZÔNIA

Dennys Augusto Araújo Souza<sup>1</sup>

Reynerth Pereira da Costa<sup>2</sup>

Bruno Coelho Bulcão<sup>3</sup>

Vinícius de Lima Lopes<sup>4</sup>

Francisco Otávio Miranda<sup>5</sup>

### INTRODUÇÃO

A busca de explicação acerca das manifestações do escoamento de fluidos a elevados valores do número de Reynolds ( $Re$ ) remonta às gravuras de Leonardo da Vinci e suas expressões do escoamento com padrões de organização em diversas escalas (Farias, 2017). Desde aquela época, muitas sugestões sobre a forma e a gênese dessas estruturas são encontradas na literatura. Em regiões de floretas tropicais, no entanto, ocorrem alguns fenômenos peculiares que provocam alterações bruscas nos sinais turbulentos à superfície. Uma compreensão sobre a gênese destas alterações bruscas nos sinais tem uma importância fundamental em estudos sobre a climatologia de regiões tropicais e serão tratadas aqui como Fenômenos Extremos (FE's). Estudos preliminares sobre a natureza destes FE's dão fortes indícios de que “acima de reservas florestais amazônicas a ocorrência de regimes de forte turbulência parece estar associada a fenômenos apresentando mudanças bruscas nos valores das variáveis meteorológicas, inclusive na direção do vento” (Farias, 2017). Além disso, queda súbita em variáveis como a temperatura e a umidade específica (Betts et al., 2002; Gerken et al., 2015; Wang et al., 2016) que por muitas vezes estão associadas à presença de forte atividade convectiva com nuvens cumulonimbus e tempestades próximas ao sítio experimental (Nogueira, 2008) podem ser a razão principal da grande variabilidade de fluxos à superfície (Farias, 2017). É provável que tais fenômenos guardem relação com a formação de “gust fronts” de tempestades tropicais e estejam ainda associados a correntes de densidade como as relatadas por Costantino e Heinrich (2014), em seu estudo de modelagem de alta resolução do escoamento convectivo na costa ocidental da África. A questão fundamental, no entanto, é se estes fenômenos que comprovadamente induzem grande variabilidade de fluxos de escalares em uma região particular da Amazônia podem ser verificados nas demais regiões nas quais são ou foram realizadas medidas experimentais.

---

<sup>1</sup> Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas-UEA, autor: [daas.fis16@uea.edu.br](mailto:daas.fis16@uea.edu.br);

<sup>2</sup> Graduado pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas-UEA, coautor: [preynerth@gmail.com](mailto:preynerth@gmail.com);

<sup>3</sup> Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas -UEA, coautor: [bruno.boy94@hotmail.com](mailto:bruno.boy94@hotmail.com);

<sup>4</sup> Graduando pelo Curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, coautor principal: [viniciuslimalopes20@gmail.com](mailto:viniciuslimalopes20@gmail.com);

<sup>5</sup> Professor orientador: Doutor, Colegiado de Física - CESP-UEA - AM, [ffarias@uea.edu.br](mailto:ffarias@uea.edu.br) -UEA, coautor

## **METODOLOGIA**

Para as análises de Fluxos de escalares: As metodologias serão a aplicação de métodos de Eddy Covariance na análise de fluxos de escalares à superfície. Serão utilizadas séries temporais com um comprimento de uma hora antes e uma hora depois da eclosão do Fenômeno extremo.

Para o caso particular de análises de regimes de turbulência, será utilizada a metodologias proposta por Sun et al. (2012) para análise de sinais e transição entre regimes de turbulência à superfície. Essa metodologia já foi aplicada com sucesso na atmosfera tropical por alguns autores, dos quais cita-se Dias-Júnior et al. (2017) Efetivamente, a distinção entre características de regimes de turbulência “fraca” e turbulência “forte” já tem sido pesquisada há algum tempo, todavia, a metodologia proposta por Sun et al. (2012) estabelece como interessante inovação é a possibilidade de se poder separar três regimes turbulentos qualitativamente diferentes a partir da construção de um “espaço de fase” adequado em que a velocidade média do vento fica no eixo das abscissas, e a escala característica de velocidade turbulenta (VTKE) ocupa o eixo das ordenadas, geralmente aplicado para séries temporais de dados noturnos, com duração de 5 min (conforme Sun et al., 2002). Uma característica marcante dos dados inseridos graficamente em tal espaço de fase é a de que uma fração considerável deles se agrupa ao longo de duas linhas retas que apresentam declividades diferentes: a primeira, com declividade menor, associada a valores menores de  $z$  e a segunda, com declividade maior, associada a valores maiores de  $z$ , sendo que a abscissa do ponto de encontro destas duas retas indica o valor da chamada “velocidade limiar”,  $V_L$ , a qual serve como um indicador para separar um regime de turbulência fraca (regime 1) de outro associado à turbulência forte (regime 2).

## **DESENVOLVIMENTO**

O objetivo do trabalho consiste em verificar se o mesmo padrão de FE's que induzem a modificações significativas nos fluxos turbulentos de escalares à superfície para o sítio experimental anteriormente estudado (no projeto anterior) se repete em outros sítios da Amazônia. Assim, verificando os padrões de variabilidade de fluxos de escalares, previamente identificados para a Camada Limite Estável do sítio do Cuieiras, também se manifestam para os demais sítios da Amazônia em que se tenham dados disponíveis, fazendo uma climatologia de ocorrência de FE's para todos os outros sítios da Amazônia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando os dados selecionados a partir de medidas realizadas no sítio do Cuieiras (Norte/Noroeste da cidade de Manaus) e ATTO (Observatório da Torre Alta da Amazônia, a 150 quilômetros em linha reta de Manaus, no município de São Sebastião do Uatumã), pode-se observar a eclosão de fenômenos muito intensos nas duas localidades, que induzem a condições atmosféricas muito diferentes daqueles observados quando a atmosfera tropical cujo escoamento não apresenta desvios significativos. Tais fenômenos, nomeados como Fenômenos Extremos, seguindo a nomenclatura de Miranda, 2017, causam perturbações significativas nos escoamentos e nos fluxos de escalares à superfície. Entre as principais perturbações que foram observadas pode-se citar:

- 1 – A ocorrência de FE's na camada Limite estável em outros sítios experimentais na Amazônia;
- 2 – Catalogação dos padrões de variabilidade de fluxos de escalares, pelo menos para aqueles casos em que o FE compartilha da mesma gênese;
- 3 – Comprovação dos padrões previamente identificados para a Camada Limite Estável do sítio do Cuieiras, também se manifestam para os demais sítios da Amazônia;
- 3 – Climatologia de ocorrência de FE's para todos os sítios da Amazônia. Esta climatologia será de grande utilidade em estudos sobre a variabilidade climática local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Continuamos como objetivo deste projeto mapear a ocorrência de fenômenos extremos (FE) e verificar a variabilidade dos fluxos turbulentos de escalares em momentos de ocorrência destes fenômenos nos sítios experimentais do Cuieiras e ATTO, localizado em floresta tropical do estado do Amazonas. Assim fazendo uma climatologia de ocorrência com ênfase nos períodos de ocorrência e intensidade, verificando a variabilidade dos fluxos de escalares antes, durante e depois da eclosão do FE como descrito por Sum et al. (2012).

Assim foi possível fazer a análise climatologia dos respectivos dados coletados, entre as perturbações observadas podemos citar: Queda brusca de temperatura, Aumentos significativos nas componentes horizontal e vertical da velocidade do vento, aumentos nas concentrações de O<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub>, aumentos elevados nos fluxos de escalares a superfícies e picos de variância das séries temporais turbulentas.

Os itens citados têm uma característica que guarda forte relação com a ocorrência destes fenômenos de natureza extrema e que ocorrem em curtos intervalos de tempo na Atmosfera Tropical. A principal delas é que estes se manifestam simultaneamente em todos os sinais turbulentos.

## AGRADECIMENTOS

The authors acknowledge the financial support for field studies from the U.S. Department of Energy (grant SC0011075), from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), and from FAPESP (Process number 2013/50529-8). We acknowledge the support from the Central Office of the Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA), the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA). The authors is thankful to Universidade do Estado do Amazonas for financial support [CSPROJ – 53994; 54140 e 43097].

## REFERÊNCIAS

- Betts, A. K., Gatti, L. V., Cordova, A. M., Silva Dias, M. A., & Fuentes, J. D. (2002a). Transport of ozone to the surface by convective downdrafts at night. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D20).
- Betts, A. K., Fuentes, J. D., Garstang, M., & Ball, J. H. (2002b). Surface diurnal cycle and boundary layer structure over Rondônia during the rainy season. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D20).
- Costantino, L., & Heinrich, P. (2014). Tropical deep convection and density current signature in surface pressure: comparison between WRF model simulations and infrasound measurements. *Atmos. Chem. Phys*, 14(6), 3113-3132.
- Dias-Júnior, C. Q., Sá, L. D., Marques Filho, E. P., Santana, R. A., Mauder, M., & Manzi, A. O. (2017). Turbulence regimes in the stable boundary layer above and within the Amazon forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 122-132.
- Farias, Francisco Otávio Miranda. Detecção de fenômenos extremos na camada limite atmosférica noturna acima da floresta Amazônica a partir da análise de sinais precursoros. 2017.
- Gerken, T., Wei, D., Chase, R. J., Fuentes, J. D., Schumacher, C., Machado, L. A., ... & Jardine, A. B. (2016). Downward transport of ozone rich air and implications for atmospheric chemistry in the Amazon rainforest. *Atmospheric Environment*, 124, 64-76.
- Mallat, S., & Hwang, W. L. (1992). Singularity detection and processing with wavelets. *IEEE transactions on information theory*, 38(2), 617-643.
- Nogueira, D. S. (2008). Aspectos Observacionais e Numéricos da Interação Floresta-Atmosfera, na Amazônia Oriental: Fenômenos Turbulentos Noturnos, (Master dissertation, Mestrado em Ciências Ambientais, 120 pp., 2008. Universidade Federal do Pará, Belém Pará).
- Sun, J., Mahrt, L., Banta, R. M., & Pichugina, Y. L. (2012). Turbulence regimes and turbulence intermittency in the stable boundary layer during CASES-99. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69(1), 338-351.