



Análise de Sinais Turbulentos dentro e acima da Floresta Amazônica com o uso de Redes Complexas

Edilane Mendes dos Santos*

Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente, INPA
69067-375, Manaus, Brasil
E-mail: edilane.mendes@inpa.gov.br

Andriana S. L. O. Campanharo

Depto. de Bioestatística, IBB, Unesp
18618-970, Botucatu, Brasil
E-mail: andriana@ibb.unesp.br

Fernando M. Ramos

Lab. Associado de Computação e Matemática, LAC, INPE
12201-970, São José dos Campos, Brasil
E-mail: fernando@lac.inpe.br

Leonardo D. de A. Sá

Centro Regional da Amazônia, INPE
66077-830, Belém, Brasil
E-mail: leodeane@uol.com.br

Resumo: Em geral, quando as equações diferenciais que governam um determinado sistema dinâmico não são conhecidas, utiliza-se séries temporais que podem ser obtidas diretamente de um experimento. Técnicas de análise de séries temporais, tais como, as transformadas de Fourier e Wavelet, a reconstrução do espaço de estados, entre outras, são amplamente utilizadas na caracterização de um sistema dinâmico a partir de uma série temporal [3]. Contudo, grande parte dessas técnicas tem seu uso limitado quando a série temporal em estudo apresenta um caráter não estacionário, típico de séries temporais turbulentas obtidas em escoamentos na atmosfera. Desta forma, novas técnicas de análise de séries temporais têm sido propostas na literatura. Este trabalho tem como objetivo a caracterização do escoamento turbulento ocorrido abaixo e acima do dossel de árvores sob uma perspectiva de Rede Complexa [1,2,3]. Para isso, foram utilizadas séries temporais turbulentas de temperatura medidas na torre micrometeorológica da Reserva Experimental de Cueiras (AM), durante a campanha do projeto GoAmazon 2014/15.

Palavras-chave: computação científica, sistemas complexos, séries temporais turbulentas, redes complexas.

Introdução

A turbulência é considerada um dos problemas mais intratáveis do último século [1]. Seu caráter complexo aumenta quando se consideram os escoamentos turbulentos ocorridos na Camada Limite Superficial acima de vegetações densas, como é o caso da Floresta Amazônica. A dificuldade de caracterizar e medir o escoamento turbulento acima do dossel é agravada à medida que se adentra a copa das árvores. Isto se deve à rugosidade da floresta que contribui com o aumento da intensidade dos movimentos turbulentos [4,5].

Uma forma de caracterizar e medir o escoamento turbulento é utilizar séries temporais medidas em torres micrometeorológicas e aplicar técnicas computacionais para analisar a dinâmica das mesmas. Campanharo et al. [2,3] mostraram que, sob certas condições, é possível mapear a estrutura harmônica de uma série temporal na topologia de nós e conexões de uma rede complexa, a qual pode ser então caracterizada com as ferramentas típicas da teoria de Redes Complexas.

Sítio Experimental

Com a finalidade de caracterizar o escoamento turbulento nas diferentes alturas da floresta amazônica e o papel da rugosidade da copa, foram utilizadas séries temporais de temperatura medidas a uma frequência de 20 Hz, coletadas em abril de 2014 na campanha do projeto GoAmazon 2014/15. Foram utilizadas séries temporais de 10000 pontos, medidas em três alturas distintas: 18,4 m (abaixo do dossel), 31,6 m (dentro do dossel) e 48,2 m (acima do dossel) e em dois horários distintos: 3 e 15 horas (hora local). A escolha destas alturas está relacionada ao papel da rugosidade, já que o índice de

* Bolsista de Doutorado Fapeam



área foliar varia em função da altura da árvore. As séries em estudo foram mapeadas utilizando o algoritmo proposto por Campanharo et al [2,3] que mapeia uma série temporal em uma rede complexa.

Resultados e Discussão

A topologia das redes complexas obtidas foi caracterizada com base no Menor Caminho Médio (L) e no Coeficiente de Agrupamento (C), visando a caracterização das séries associadas. Os resultados mostraram que o mapeamento é robusto e captura as peculiaridades inerentes à rugosidade da copa, apresentando redes com topologias distintas para cada altura/horário analisado.

Agradecimentos

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam).

Referências

- [1] A. S. L. O. Campanharo, F. M. Ramos, E. E. N. Macau, R. R. Rosa, M. J. A. Bolzan & L. D. A. Sá. Searching chaos and coherent structures in the atmospheric turbulence above the Amazon forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1865), 579-589, (2008).
- [2] A. S. L. O. Campanharo. Dualidade entre a análise de séries temporais e de redes complexas. Tese de Doutorado do Curso de Pós-graduação em Computação Aplicada, São José dos Campos: INPE, 2010.
- [3] A. S. L. O. Campanharo, M. I. Sireer, R. D. Malmgren, F. M. Ramos, and L. A. N. Amaral. Duality between time series and networks. *PLoS ONE*, 6(8), 08 (2011).
- [4] J. J. Finnigan, Turbulence in plant canopies. *Ann. Rev. Fluid. Mech.*, 32, 519-571 (2000).
- [5] M. R. Raupach et al., Coherent eddies and turbulence in vegetation canopies: The mixing layer analogy., *Boundary-layer Meteorol.*, 78, 351-382 (1996).