



Aplicação do método de variáveis defasadas no estudo da temperatura média do ar em uma floresta de transição do Norte de Mato Grosso

Hozana Silva FERREIRA¹, Sérgio Roberto de PAULO¹, Iramaia Jorge Cabral de PAULO¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

*E-mail: sergioufmont@gmail.com

Recebido em janeiro/2017; Aceito em setembro/2017.

RESUMO: O objetivo da pesquisa foi realizar uma análise estatística utilizando o método de variáveis defasadas aplicada ao estudo temperatura média do ar de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso. Os dados abrangem os anos 2001, 2002, 2003 e 2007. A análise estatística foi realizada com o teste de Qui-Quadrado (X^2), verificando que os valores médios horários representam os dados experimentais para os meses considerados. O estudo foi conduzido com a reconstrução de atratores, tendo como base a Teoria da Complexidade, a partir de dados da média horária da temperatura do ar. Os atratores reconstituídos, para diversos meses dentro do período estudado, se apresentaram como estatisticamente compatíveis com os dados instantâneos e se mostraram robustos frente à diferentes anos e estações do ano.

Palavras-chave: ambiente, séries temporais, atratores reconstruídos, defasagem temporal.

Application of the lagged variables method applied to the average air temperature on a transition forest of northern Mato Grosso

ABSTRACT: The purpose of this work was statistically analyze time series by using the method of lagged variables applied to the average temperature of air from a transition forest of northern Mato Grosso. The data cover the years 2001, 2002, 2003 and 2007. The statistical analysis was performed with chi-square (X^2) test, verifying that the hourly average values are representative of the experimental data for the considered months. The study was carried out by means of the attractor reconstruction technique, based on the Complexity Theory, using data of the hourly mean temperature. The reconstructed attractors, for all the analyzed months, were statistically compatible with the instantaneous data and presented as robust structures, independently on the year and season.

Keywords: environment, time series, reconstructed attractors, time lag.

1. INTRODUÇÃO

Desde o século XX, a sociedade vive em um cenário marcado pelo impacto das mudanças climáticas, as quais estão relacionadas às atividades antrópicas ou até mesmo naturais. Com isso, muitos pesquisadores estudam essas mudanças, buscando uma previsão futura.

As projeções consensuais para os biomas brasileiros são esperadas mudanças profundas e variáveis no clima, conforme a região do país, afetando ecossistemas aquáticos e terrestres. Essas mudanças levaram os cientistas à utilização de projeções ou simulações geradas por modelos que consideram os diferentes cenários de emissões globais de gases do efeito estufa, com os seguintes resultados para o futuro do clima:

- i) Amazônia- reduções percentuais de - 10% na distribuição de chuva e aumento de 1°C a 1,5°C até 2040;
- ii) Caatinga-aumento de 0,5°C a 1°C na temperatura do ar e decréscimo entre 10% e 20% na precipitação durante as próximas três décadas até 2040;
- iii) Cerrado - aumento de 1°C na temperatura superficial com diminuição percentual entre 10% a 20% na precipitação durante as próximas três décadas;
- iv) Pantanal- aumento de 1°C temperatura e diminuição entre 5% e 15% nos padrões de chuva até 2040.

Tais tendências têm sido confirmadas por relatórios posteriores do IPCC. Porém, atualmente, o desmatamento decorrente das intensas atividades de uso da terra representa uma ameaça mais imediata para a Amazônia. Em projeções futuras (Marengo, 2015), tais tendências são reafirmadas, sendo que a elas se acrescentam outros pontos indicando a vulnerabilidade do país às mudanças climáticas globais, como, por exemplo, as secas ocorridas na região sudeste e a enchente do Rio Madeira, ambas ocorridas em 2014.

O Estado de Mato Grosso é uma região particularmente marcada pela alteração dos seus ecossistemas pelo uso da terra de forma não planejada e sustentável. Em Mato Grosso, estudos envolvendo a correlação entre as condições micrometeorológicas e as condições dos ecossistemas ligadas ao uso da terra estão sendo conduzidas pelo Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da UFMT.

Diante das dificuldades citadas, o grupo de pesquisa em Física Ambiental da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) desenvolve pesquisas sobre o comportamento de variáveis microclimáticas há mais de 10 anos. A quantidade de dados armazenados é relativamente grande, possibilitando teste confiável.

Para um melhor entendimento da previsibilidade das variáveis ambientais, como a temperatura do ar, faz-se

necessário um estudo sobre essa variável em certos períodos, verificando, assim, as dificuldades em prevê-las e um possível efeito da sazonalidade. Uma maneira de conduzir esse estudo é a reconstrução de atratores, tendo como base a Teoria da Complexidade. Trata-se de uma técnica recente na área de microclimatologia. Alguns estudos na área de meteorologia vêm sendo conduzidos desde a década de 80 (Fraedrich, 1986; Nicolis, 1987), utilizando a técnica de reconstrução de atratores. Com o tempo, tal técnica se tornou mais aprimorada e apta a revelar novas nuances do comportamento não linear das variáveis climáticas (Ghil et al., 2002; Panchev; Tsekov, 2007), tornando-se uma ferramenta indispensável para o estudo da dinâmica microclimatológica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados no município Sinop, distante aproximadamente 560 km de Cuiabá, Capital do Estado de Mato Grosso, Brasil, (figura 1) na fazenda Maracaí, cerca de 20 km², localizada na região Centro Oeste, a 60 km da cidade de Sinop, (longitude 55°19'50''w latitude 11°24'75''). Está contida em uma floresta de transição entre floresta úmida e o cerrado, possui um dossel contínuo de altura entre 26m a 28m, em terreno plano a 423m do nível do mar, pertencente à bacia do rio Teles Pires, no meio Norte de Mato Grosso.

Os dados analisados foram séries temporais da temperatura do ar. O tempo de coleta compreende entre os anos de 2001, 2002, 2003 e 2007. Os dados referente a variável estudada foram coletadas através de sensores de correlação de vórtices turbulentos que foram montados a uma altura de 42 m acima do solo, aproximadamente 13 metros acima do dossel da floresta, onde funciona o sistema de vórtice turbulentos (Eddy Covariance), ou seja, o Fluxo de Calor Latente (LE), o Fluxo de Calor Sensível (H) e a Temperatura (T). A frequência de coleta é de 10 HZ (0,1 em 0,1 segundos), registrando e armazenando uma média a cada 30 minutos.

O equipamento consiste de quatro elementos básicos: um anemômetro-termômetro sônico tridimensional(SWS-211/3K, Applid Technologies, Inc., Boulder; Colorado, E.U.A), um analisador infravermelho de gases CO₂/H₂O em circuito aberto (IRGA), um conversor/controlador analógico-digital, também conhecido como Data Packer, e um computador portátil para aquisição e processamento dos dados (VOURLITIS et al., 2002) e (VOURLITIS et al., 2001). Todos os aparelhos foram instalados pelo grupo de estudo da Física Ambiental. A manutenção e calibração foi realizada pelo mesmo grupo.

Nesta pesquisa, foi aplicada a técnica da reconstrução do atrator, baseada na obtenção de vetores defasados da série temporal original conforme o teorema de Takens (TAKENS, 1981). Para a reconstrução do atrator, utilizou-se a série temporal da variável temperatura do ar, de acordo com os resultados de CAPISTRANO (2007), os quais apontam que, de todas as variáveis medidas no sítio de Sinop, a temperatura é a variável mais bem comportada e, portanto, mais simples de ser modelada. O tempo de defasagem escolhido é o de cinco horas baseado nos resultados de PALÚ (2008), que conclui que a aplicação desse tempo pode ser adotada em quaisquer que sejam as análises de séries temporais para a estimativa da dimensionalidade dos processos envolvidos na interação atmosfera biosfera, na

floresta de transição de Sinop, independente de qual variável estiver sendo estudada e, também, de que época do ano os dados se referem.

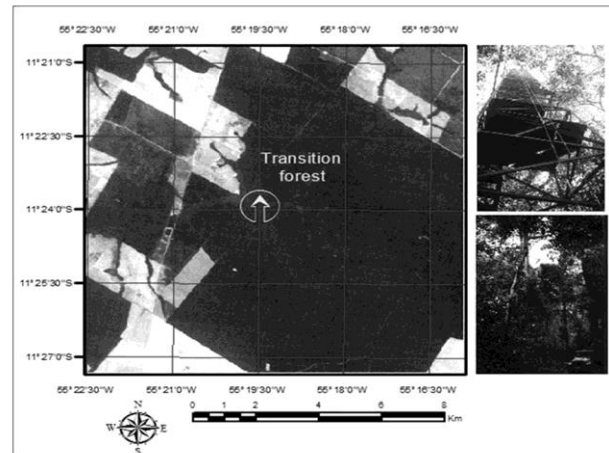


Figura 1. Local de estudo. Fonte: Danelichen (2012)

Figure 1. Study local. Fonte: Danelichen (2012)

3. RESULTADOS

3.1 Análise Estatística dos Resultados da Pesquisa

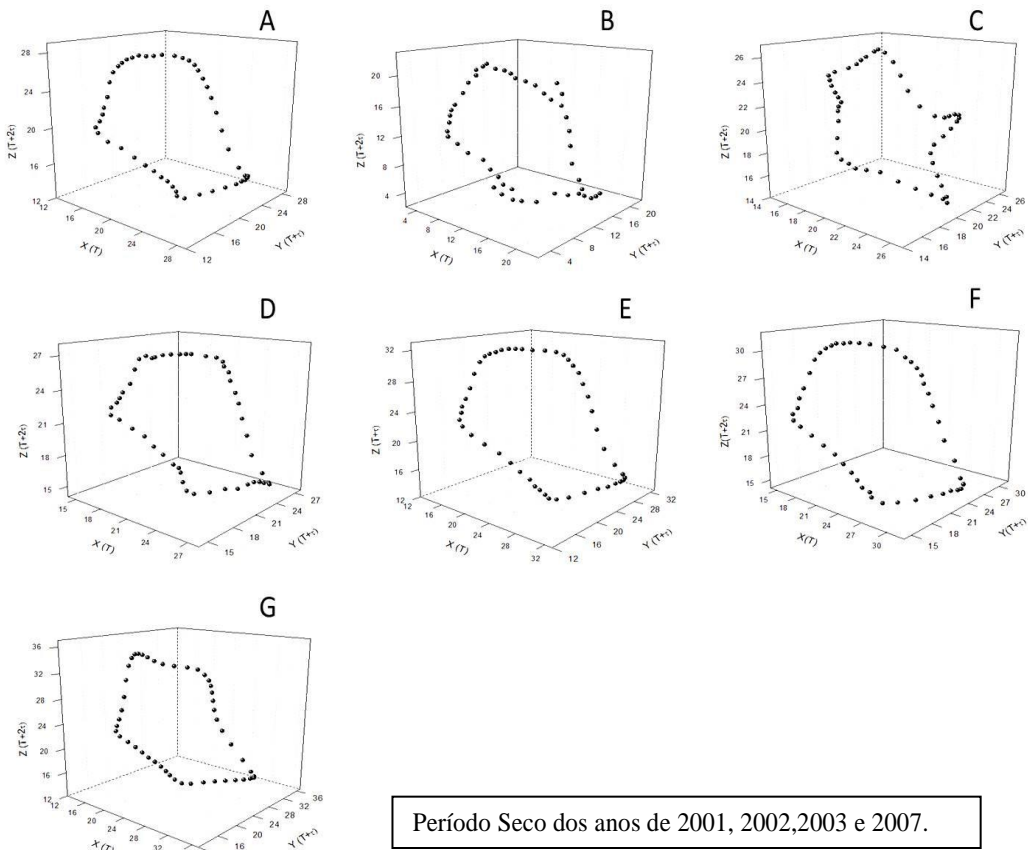
Para observar melhor o perfil dos atratores, foi calculada a média horária dos dados de temperatura do ar para os períodos analisados nesse trabalho. Utilizando a técnica da reconstrução do espaço de fase por meio de séries defasadas (CAPISTRANO, 2007), obteve-se as figuras de 2 a 5, referentes ao período seco, período chuvoso, período chuvoso-seco e período seco-chuvoso.

Em um todo é possível observar um ciclo fechado nesses meses que representam o período seco. Percebe-se que nos meses junho de 2002(c) e julho de 2007(g) os atratores reconstruídos possuem um formato que se assemelha a uma estrela. Considerando que esses meses representem o período chuvoso, nota-se a formação de um ciclo com linha suave, sendo significativo, exceto em janeiro de 2003(j) onde os pontos estão dispersos.

Constata-se que os atratores reconstruídos no período chuvoso-seco possuem a linha fechada e bem definida, percebe-se que o mês de maio de 2003(t) o atrator tem um formato de uma estrela.

3.2 Análise Quantitativa do Coeficiente de Dispersão

O valor 1 é o valor que se espera quando se tem uma média horária representativa do todo. Assim encontrou-se o valor entre 0 a 1,5 em que se tem a média horária representativa do todo e, dessa forma regular, exceto os meses de novembro de 2002 (0,4) apresentando uma dispersão. Notou-se que os valores acima de 1,5 correspondem a atratores reconstruídos a partir de dados da média horária que possuem um formato semelhante a uma estrela, sendo irregular. Observou-se que os meses de janeiro e março de 2007, apresentam respectivamente valores de 1,7 e 2,7 apresentando-se uma forma regular.



479

Figura 2. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de junho de 2001 (a), agosto de 2001(b), junho-julho-agosto de 2002 (c, d, e), agosto de 2003 (f) e julho de 2007 (g).
 Figure 2. Reconstructed attractor of the mean hourly temperature in 2001 June (a), 2001 August (b), 2002 June-July-August (c,d,e), 2003 August (f) and 2007 July (g).

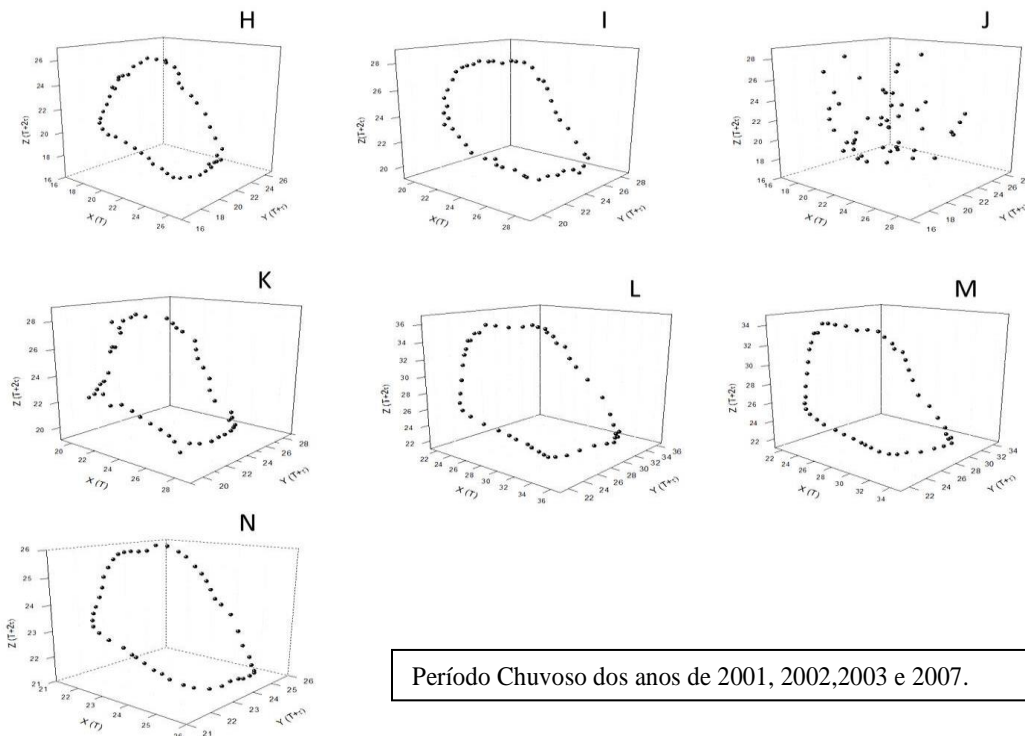


Figura 3. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de fevereiro de 2001 (h), dezembro de 2002 (i), janeiro-fevereiro de 2003 (j, k), janeiro-fevereiro de 2007 (l, m) e dezembro de 2007 (n).
 Figure 3. Reconstructed attractor of the mean hourly temperature in 2001 February (h), 2002 December (i), 2003 January-February (j,k), 2007 January-February (l,m) and 2007 December (n).

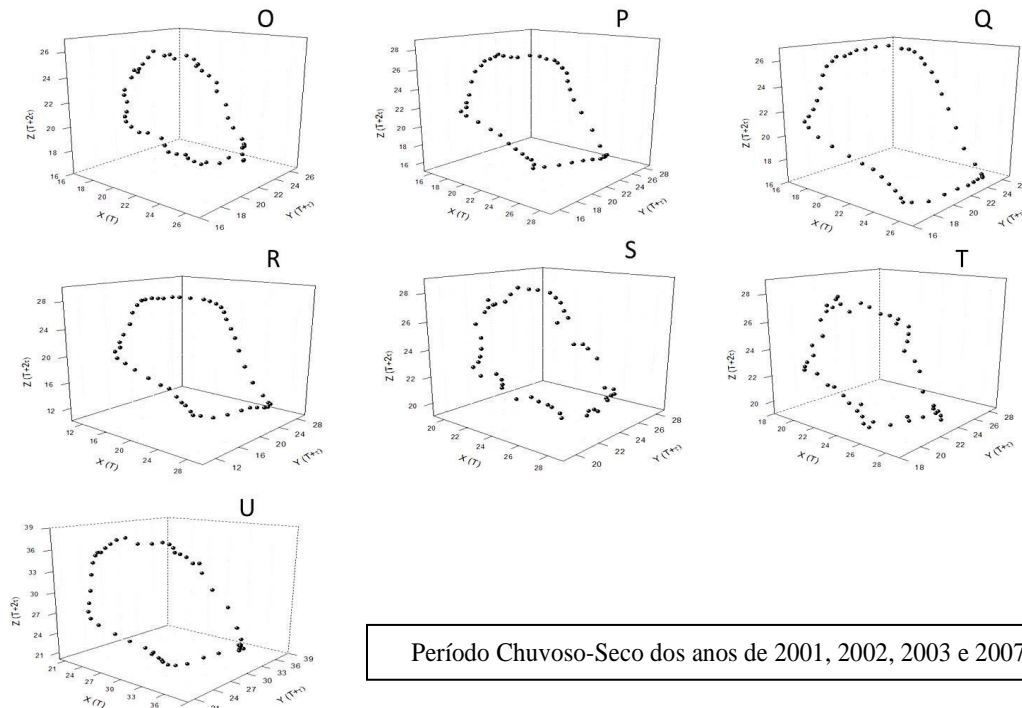


Figura 4. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de março-abril-maio de 2001(o, p, q), maio de 2002 (r), março de 2003 (s), maio de 2003 (t) e março de 2007 (u).

Figure 4. Reconstructed attractor of the mean hourly temperature in 2001 March-April-May (o,p,q), 2002 May (r), 2003 March (s), 2003 May (t) and 2007 March (u).

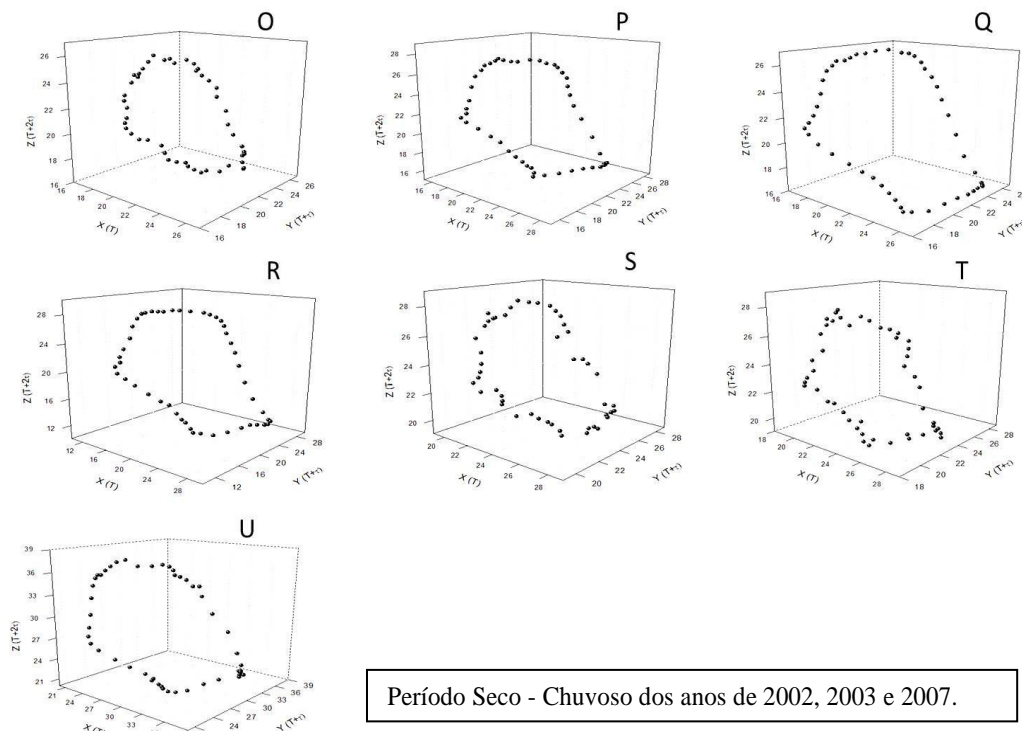


Figura 5. Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar no mês de setembro-outubro-novembro de 2002 (v, w, x), setembro-outubro de 2003 (y, z) e setembro-outubro-novembro de 2007 (aa, ab, ac).

Figure 5. Reconstructed attractor of the mean hourly temperature in 2002 September-October-November (v,w,x), 2003 September-October (y,z) and 2007 September-October-November (aa, ab, ac).

Tabela 1. Nível de significância para valores dos anos de 2001, 2002, 2003 e 2007.

Table 1. Significance lever for years 2001, 2002, 2003 and 2007.

Meses	Valor Qui- Quadrado reduzido
2/2001	0,2731
3/2001	0,8907
4/2001	0,3278
5/2001	1,2160
6/2001	0,6661
8/2001	0,7597
5/2002	0,7707
6/2002	0,4414
7/2002	0,4661
8/2002	0,4653
9/2002	0,7162
10/2002	1,8757
11/2002	0,4528
12/2002	0,6773
1/2003	3,5359
2/2003	0,4338
3/2003	0,7839
5/2003	3,7742
8/2003	0,3329
9/2003	0,4442
10/2003	1,4122
1/2007	1,7144
2/2007	0,6000
3/2007	2,7344
7/2007	0,5459
9/2007	0,5538
10/2007	0,6111
11/2007	1,0664
12/2007	0,2213

4. DISCUSSÃO

Os atratores reconstruídos do período seco-chuvoso possuem um formato definido exceto o mês de novembro 2002(x), onde o ciclo não é visualizado. Fica evidente, assim, na maioria dos meses, que a temperatura média horária possui um comportamento bastante regular. Isso pode ser concluído, pois se observa uma linha suave, sem desvios significativos e, nesses meses, que são a maioria, a temperatura média parece ser representativa de um processo regular que define o perfil da temperatura.

Observa-se uma linha fechada, que forma um ciclo, exceto nos meses de janeiro 2003(j) e novembro de 2002(x), que são os meses em que houve muita chuva, dificultando as medidas e tornando a dinâmica do sistema estudado mais irregular. A maioria dos meses tem perfil semelhante ao observado em dezembro de 2002(i), embora alguns deles apresentem um contorno um pouco mais complexo, como em junho de 2002 (c), maio de 2003(t) e julho de 2007(g), próximo ao perfil de estrela. Nessa análise, observou-se uma tendência geral de meses de chuva a ser menos regulares que os meses de seca. Para o nível de significância adotado (5%), os pontos que correspondem aos valores acima 1,5 são inaceitáveis, considerando o teste do chi-quadrado. Portanto,

para valores acima de 1,5, não se pode aceitar que a média horária seja representativa dos valores reais da temperatura.

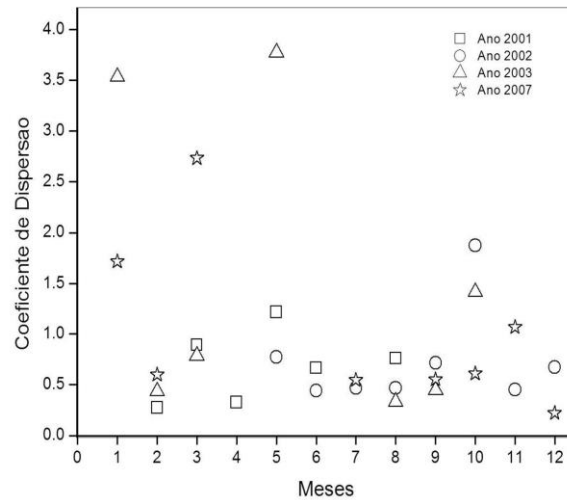


Figura 6. χ^2 reduzido para cada mês analisado.
Figure 6. Reduced χ^2 for each month.

Desse modo os meses que correspondem a esses valores são: outubro de 2002, janeiro e maio de 2003, janeiro e março de 2007. Correspondentemente, pode-se aceitar que a média horária seja representativa dos valores reais da temperatura nos demais meses: fevereiro, março, abril, maio, junho e agosto de 2001; maio, junho, julho, agosto, setembro, novembro e dezembro de 2002, fevereiro, março, agosto, outubro e setembro de 2003; fevereiro, julho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2007, ou seja, na sua maioria. Em geral, os meses em que a média horária não é representativa correspondem ao período de chuvas, nos quais a dinâmica do sistema é bastante afetada pela aleatoriedade da precipitação.

5. CONCLUSÕES

Observou-se um ciclo de linha fechada exceto nos meses de novembro de 2002 e janeiro de 2003, sendo que na maioria dos meses, a temperatura média horária possuiu um padrão bastante regular. No processo de reconstrução de atratores, a média horária da temperatura se mostrou estatisticamente representativa dos dados instantâneos. Os valores do chi-quadrado acima do limite aceitável correspondem a atratores reconstruídos a partir de dados da média horária que possuem um formato irregular.

Outra consideração importante está relacionada ao fato de que os ciclos constituídos pelas médias horárias geralmente têm a forma de uma estrela de cinco pontas. Esse formato se trata de um padrão bastante recorrente em uma diversidade de fenômenos estudados pela Teoria da Complexidade (Nicolis and Prigogine, 1998). Por exemplo, nas formas de fluxos que emergem em fluidos em rotação (um exemplo bastante interessante se refere à aparência do pólo norte de Saturno – um padrão, aliás, semelhante aos das Figuras 1 a 4).

O fato da média horária se comportar no espaço de fase de tempos defasados como uma linha contínua, suave e fechada sugere fortemente que a temperatura pode ser modelada com um sistema de equações diferenciais de primeira ordem. Adicionalmente, o fato de que a média horária se apresenta como uma curva fechada que pode ser contida num volume de relativa baixa espessura sugere que

um conjunto de duas equações diferenciais pode oferecer uma aproximação que pode descrever adequadamente o comportamento dessa variável, ou, em outras palavras, o fenômeno é de baixa dimensionalidade. Tal resultado é compatível com medidas diretas da dimensionalidade do atrator para as temperaturas de Sinop (de Paulo et al., 2015).

6. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES) através do Programa de Apoio a Núcleo de Excelência (PRONEX) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- APISTRANO, V. B. **Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimatológicas Medidas em Sinop-MT Utilizando a Teoria da Complexidade**. 2007. 62p. Dissertação (Mestrado) – Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.
- FRAEDRICH, K. Estimating the Dimensions of Weather and Climatic Attractors. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 5, p. 419-432, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1986\)043<0419:ETDOWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1986)043<0419:ETDOWA>2.0.CO;2)
- GHIL, M.; ALLEN, M. R.; DETTINGER, M. D.; IDE, K.; KONDRASHOV, D.; MANN, M. E.; ROBERTSON, A. W.; SAUNDERS, A.; TIAN, Y.; VARADI, F.; YIOU, P. 2002 Advanced Spectral Methods for Climatic Time Series. **Reviews of Geophysics**, v. 40, n. 1, p. 3.1-3.41, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1029/2000RG000092>
- MARENGO, J. A. O Futuro Clima do Brasil. **Revista da USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 2014. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99280/97696>.
- NICOLIS, C. **Long-term Climatic Variability and Chaotic Dynamics**. *Tellus*, 39A, 1987. p.1-9.
- NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I. **Exploring Complexity – An Introduction**. 5ª edição. New York, U.S.A.: W. H. Freeman and Company, 1998. 312p.
- PALÚ, A. E. R. **Determinação do Tempo de Defasagem Mais Adequado Para Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimatológicas Medidas Numa Floresta de Transição no Norte de Mato Grosso**. 2008. 48p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física – Universidade Federal de Mato Grosso.
- DE PAULO, S.; DE PAULO, I. J. C.; DE DECKER, Y. Reconstructing the micrometeorological dynamics of the southern Amazonian transitional Forest. **Chaos**, v. 25, p. 123123.1-123123.8, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4938188>
- PANCHEV, S.; TSEKOV, M. Empirical Evidences of Persistence and Dynamical Chaos in Solar-Terrestrial Phenomena. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v. 69, p.2391-2404, 2007.
- TAKENS, F. Detecting strange attractors in turbulence. In: RAND, D. A.; YOUNG, L. S. (Eds.) *Dynamical systems and turbulence, Lecture notes in mathematics*, n. 898, Berlin, Germany: Springer, 1981. . 366–381.
- VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M.; NOGUEIRA, J. S. de; CASEIRO, F.; CAMPELO JR, J. H. Seasonal variations in evapotranspiration of a transitional tropical Forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, v. 38, n. 6, p. 30.1-30.11, 2002.
- VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CASEIRO, F. T.; e CAMPELO JR, J. H. 2001. Seasonal variations in the net ecosystem CO₂ exchange of a mature Amazonian tropical transitional forest (cerradão). **Functional Ecology**, v. 15, n. 3, p. 388-395, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2001.00535.x>