



Dinâmica da temperatura do ar de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso

Hozana Silva FERREIRA¹, Sérgio Roberto de PAULO^{1*}, Iramaia Jorge Cabral de PAULO¹

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

*E-mail: sergioufimt@gmail.com

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

RESUMO: A pesquisa foi realizada utilizando dados coletados em uma floresta de transição entre cerrado e floresta tropical úmida no norte de Mato Grosso. Os dados utilizados foram coletados no período de 2003. O foco central dessa pesquisa é a dinâmica da temperatura do ar nesse ecossistema. Pode-se concluir que essa investigação foi capaz de fornecer informações importantes da variável microclimatológica estudada. Os atratores reconstruídos a partir da série temporal do mês que corresponde ao período seco se apresentam como um ciclo mais bem comportado, quando comparada ao mês correspondente ao período intermediário chuvoso e seco. Observou-se um ciclo de linha fechada utilizando dados a cada meia hora, organizados mês a mês. A temperatura média horária possui um comportamento bastante regular. Encontrou-se um valor próximo de 1 para o coeficiente de dispersão medido pelo valor do χ^2 reduzido, em alguns meses, tomando-se a diferença relativa entre os dados experimentais e os valores médios horários, indicando que os valores médios bem representam os dados experimentais para os meses de estação seca.

Palavras-chave: Temperatura ambiente, atratores reconstruídos, defasagem, massa de ar, séries temporais.

Dynamics of the air temperature of a transition forest in the north of Mato Grosso

ABSTRACT: This research was done by using data collected in a transition forest located between Brazilian savannah and tropical Amazon forest in the north of Mato Grosso, Brazil. The used data were collected in the year of 2003. The main focus of this research is the dynamics of air temperature in such a ecosystem. It was concluded that this investigation was able to give important information concerning the studied microclimatological variable. The attractors reconstructed from the time series of the month that corresponds to the dry season, presented a well behaved cycle, compared with the corresponding month in the period between the rainy and dry seasons. It was observed a closed cycle by using half hour data organized monthly. The mean hourly temperature has a regular behaviour. The dispersion coefficient (measured by the reduced χ^2) between the experimental data and the mean hourly values, in some months, was near 1, indicating that the mean values well represent the experimental data for the dry season.

Keywords: environmental temperature, reconstructed attractors, time lag, air mass, time series.

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia contempla a maior floresta tropical permanente do mundo Fujisaka et al. (1998). Segundo Lentini et al. (2003), a Amazônia Legal no Brasil é compreendida pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Acre e Amapá e parte dos estados do Maranhão e Mato Grosso, com sua maior parte (64%) de cobertura vegetal formada por floresta, sendo que os cerrados e campos representam 24% da Amazônia e aproximadamente 12% está sendo modificada pela ação antrópica.

Essa região é caracterizada por apresentar clima quente e úmido, dando assim a conotação de uniformidade climática, porém apresenta na realidade, nítida variação térmica e acentuada variabilidade hídrica, está em termos espacial e temporal. (BASTOS, 2005). De acordo com Bastos (2005), a maior flutuação na radiação solar, na temperatura do ar e umidade atmosférica, está associada com o padrão das chuvas, verificando-se que por ocasião do período mais chuvoso, ocorre redução na temperatura do ar, radiação solar global, brilho solar e aumento na umidade do ar, com o oposto ocorrendo por ocasião do período de menor pluviosidade. Conforme é conhecido, os desmatamentos somados às queimadas liberam muitos gases na atmosfera

entre eles metano, óxido nitroso e o dióxido de carbono, e a concentração desses gases no ar vem aumentando após a revolução industrial, provocando um aumento no efeito estufa e consequentemente mudanças nos micro-climas regionais.

De acordo com IPCC, a elevação na temperatura média do planeta até o final do século pode reduzir a disponibilidade de alimentos levando assim mais 530 milhões de pessoas a passar fome, 3,2 bilhões de indivíduos poderão enfrentar escassez da água, enquanto 20% da população mundial poderá viver em zonas sujeitas a enchentes.

Nesse contexto, a Teoria da Complexidade Nicolis e Prigogine (1989) é uma ferramenta importante para a compreensão da Floresta Amazônica por se tratar de um ambiente complexo, onde suas múltiplas variáveis, que se influenciam mutuamente, não obedecem a relações lineares.

Nessa condição, torna-se necessário um estudo que permita um aprofundamento numa perspectiva mais ampla, utilizando técnicas condizentes com a não-linearidade desse sistema. Conjunto de técnicas e métodos a que se dá o nome de ciências da complexidade estuda duas situações: o comportamento complexo dos sistemas simples (com poucos graus de liberdade) e o comportamento coletivo e estruturado

dos sistemas complexos (com muitos graus de liberdade) Mendes (1998).

No primeiro caso a noção de complexidade está associada à dificuldade de prever o comportamento do sistema e no segundo a criação de estruturas. Por isso, para uma melhor compreensão da previsibilidade das variáveis ambientais, como a temperatura do ar, faz-se necessário um estudo sobre essa variável em certo período, verificando, assim, as dificuldades em prevê-las e um possível efeito da sazonalidade.

Uma forma de conduzir esse estudo é a reconstrução de atratores Abarbanel et al. (1993); Nicolis; Prigogine (1989). Dessa maneira, o presente trabalho teve como objetivo utilizar essa técnica em série temporal para a temperatura do ar na floresta de transição do norte de Mato Grosso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando o banco de dados do Programa de Pós- Graduação em Física Ambiental. Os dados foram coletados no município Sinop, distante aproximadamente 560 km de Cuiabá, Capital do Estado de Mato Grosso, Brasil. A Fazenda Maracari possui aproximadamente uma área de 20 km², localizada na região Centro Oeste, a 60 km da cidade de Sinop, (11°24,75'S; 55°19,50'O). 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.

A área de estudo é caracterizada por clima tropical úmido, com duas estações definidas, uma estação seca de junho a agosto, e uma estação chuvosa de dezembro a fevereiro, com uma temperatura média anual de 24°C e precipitação de 2000 mm/ano. Miranda et al. (2004). O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênio Órtico típico a moderado álico. É um solo de textura bastante arenoso com 84% areia, 4% silte, 12% argila na camada superior do solo (50 cm). Este solo tem alta porosidade e capacidade de drenagem rápida da água das chuvas que se dá entre quatro a sete dias Priante Filho et al. (2004). Os dados estudados foram obtidos por sensores de temperatura instalados sobre uma torre de 42 metros, altura correspondente a aproximadamente 13 m acima do dossel. O equipamento foi instalado pelo grupo de estudo da Física Ambiental. A manutenção e calibração foi realizada pelo mesmo grupo.

Os dados foram acumulados num datalogger a cada 30 minutos. Nesta investigação, foi aplicada a técnica da reconstrução do atrator, baseado na obtenção de vetores defasados da série temporal original conforme o Teorema de Takens Abarbanel et al. (1993). Para a reconstrução do atrator utilizou-se a série temporal da variável temperatura do ar, a qual, de acordo com os resultados de Capistrano (2007), 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.

3. RESULTADOS

3.1 Análise da Reconstrução dos Atratores

Nas figuras 1 e 2, são mostrados os atratores para a temperatura, reconstituídos a partir da relação entre a série original $T(i)$ e as séries $T(i + \tau)$ e $T(i + 2\tau)$, para diversos meses do ano de 2003.

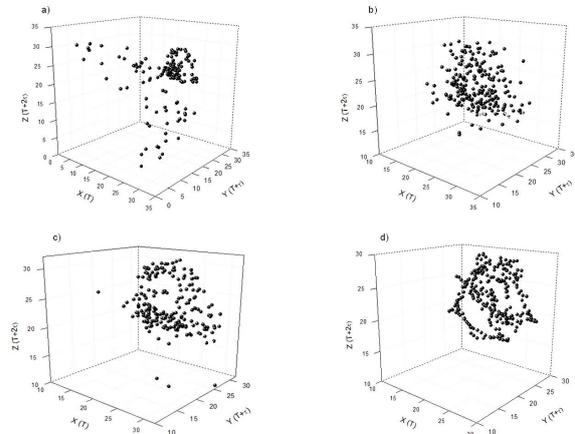


Figura 1: Atrator reconstruído a partir dos anos 2003, (a) janeiro, (b) fevereiro, (c) março e (d) maio.

Figure 1. Reconstructed attractor for 2003 January (a), February (b), March (c) and May (d).

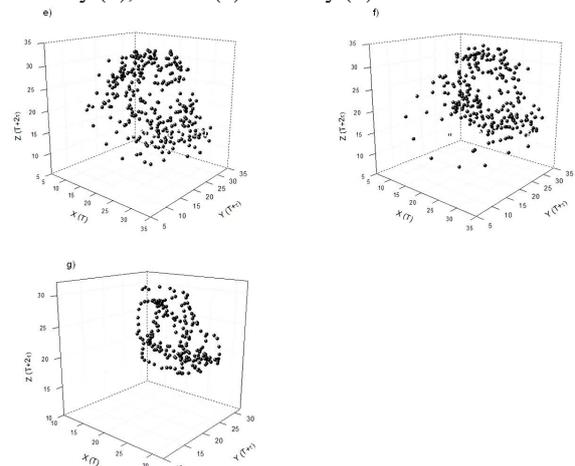


Figura 2: Atrator reconstruído a partir dos anos 2003, (e) agosto, (f) setembro e (g) outubro.

Figure 2. Reconstructed attractor for 2003 August (e), September (f), and October (g).

3.2 Influências da frente fria no padrão da temperatura

A fim de observar os efeitos da frente fria na temperatura do ar na floresta em estudo, foram utilizados os dados das séries temporais de temperatura do ar dos meses de maio 2003 para a reconstrução dos atratores. Esses períodos são compreendidos como intermediário chuvoso e seco.

3.3 Influências da umidade relativa do ar na variação da temperatura do ar

Analisou-se qual a influência da umidade do ar na reconstrução dos atratores. Para essa análise, investigou-se o mês de setembro de 2003, por ser um período em que a presença da umidade foi mais notável. Separou-se o atrator por faixa de umidade na seguinte ordem: atrator reconstruído com o ciclo do mês de acordo com a figura 4(k). A seguir pelas faixas de 2 a 2,5 kPa (Figura 4 (l)); 2,5 a 3 kPa (Figura 4(m)); 2 a 3 kPa (Figura 4(n)); 0 a 3 kPa (Figura 4(o)); 3 a 6 kPa (Figura 4(p)).

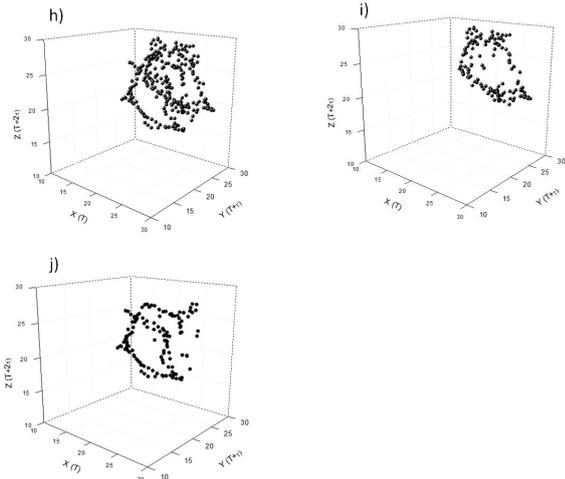


Figura 3: Atrator reconstruído a partir do mês de maio de 2003(h) representa o ciclo externo (i) e representa o ciclo interno (j).
 Figure 3. Reconstructed attractor for 2003 May (h), showing an external ring (i), and an internal one (j).

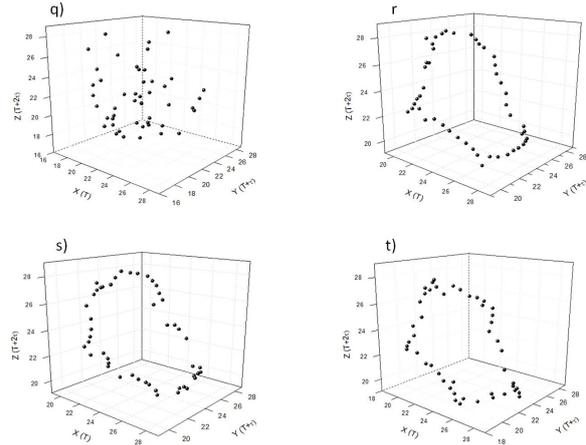


Figura 5: Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar do ano de 2003, q) janeiro, r) fevereiro, s) março, t) maio.
 Figure 5. Reconstructed attractor of the mean hourly temperature for 2003 January (q), February (r), March (s) and May (t).

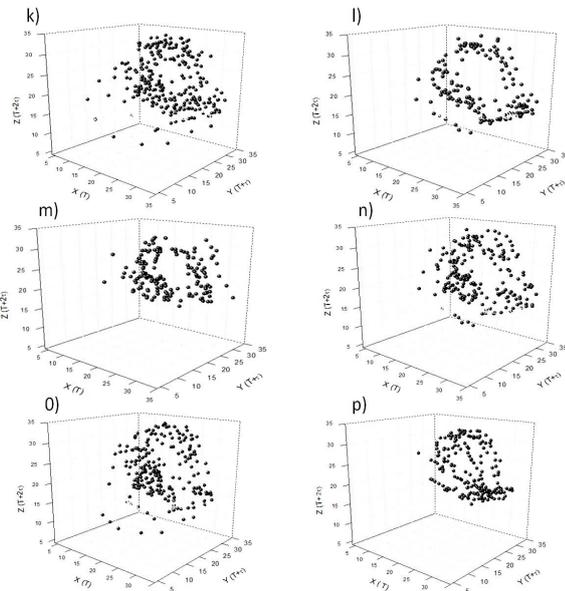


Figura 4: Atrator reconstruído a partir do mês de setembro de 2003 com a figura 4(k), separados pelas faixas de 2 a 2,5 kPa (Figura 4(l)); 2,5 a 3 kPa (Figura 4(m)); 2 a 3 kPa (Figura 4(n)); 0 a 3 kPa (Figura 4(o)); 3 a 6 kPa (Figura 4(p)).
 Figure 4: Reconstructed attractor for 2003 September - Figure 4(k), with the data into the intervals 2 to 2,5 kPa (Figure 4(l)); 2,5 to 3 kPa (Figure 4(m)); 2 to 3 kPa (Figure 4(n)); 0 to 3 kPa (Figure 4(o)); 3 to 6 kPa (Figure 4(p)).

3.4 Dispersão dos dados em torno da média horária

Nas figuras 5 e 6 estão apresentados os atratores reconstruídos a partir das médias horárias de cada mês analisado. Nota-se que na figura 5(q) apresenta uma irregularidade comparada com as demais figuras (5r, 5s e 5t).

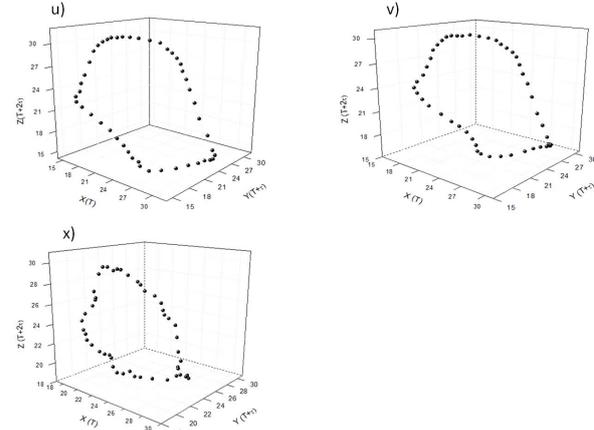


Figura 6: Atrator reconstruído a partir da média horária da temperatura do ar do ano de 2003, u) agosto, v) setembro, x) outubro.
 Figure 6. Reconstructed attractor of the mean hourly temperature for 2003 August (u), September (v), and October (x).

Para se obter uma medida quantitativa do grau de dispersão dos dados em relação à média horária, utilizou-se o teste do χ^2 reduzido, dado pela seguinte relação:

$$\chi^2 = \frac{1}{N-3} \sum_{i=1}^N \left(\frac{(T_i - \bar{T}_i)^2}{\bar{T}_i} + \frac{(T_{1+2r} - \bar{T}_{1+2r})^2}{\bar{T}_{1+2r}} + \frac{(T_{1+2r} - \bar{T}_{1+2r})^2}{\bar{T}_{1+2r}} \right)$$

em que: N é o número de dados; T_i o i-ésimo valor de temperatura e \bar{T}_i o valor da média horária correspondente ao horário em que foi feita a medida T_i .

O teste do χ^2 foi feito para os meses correspondentes às figuras 5 e 6, bem como. Os resultados da dispersão são apresentados na figura 7.

Tabela 1: Nível de Significância para Valores do ano de 2003.

Table 1. Level of significance for 2003 data.

Meses	Mês Equivalente	Valor Qui-Quadrado reduzido	Qui- Quadrado Reduzido*45
01/01/2003	1	35.359	1.591.144
1/2/2003	2	0,4338	195.216
01/03/2003	3	0,7839	352.758
01/05/2003	5	38	1.698.382
01/08/2003	8	0,3329	149.799
01/09/2003	9	0,4442	199.891
01/10/2003	10	14	63,55

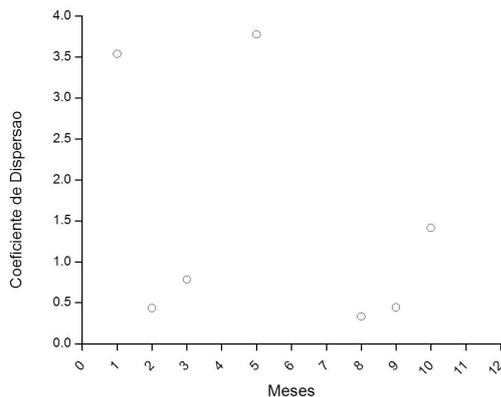


Figura 7. Nível de significância.
Figure 7. Level of significance.

507

4. DISCUSSÃO

4.1. Análise da Reconstrução dos Atratores

Um atrator pode ser definido como sendo um conjunto de valores, ou pontos, no espaço de fase para o qual o sistema converge com o tempo (se a função for contínua) ou por n interações (se a função for discreta). Dessa maneira, pode ter tantos graus de liberdade quanto o número de variáveis que influenciam o sistema, sendo que as propriedades gerais da dinâmica de um sistema podem ser deduzidas pela forma de seu atrator. Ou seja, no estudo de atrator podemos encontrar informações sobre o comportamento das variáveis do sistema Eckmann e Ruelle (1985).

Pode ser reconstruído a partir de uma série temporal de valores medidos graficando-se a série original contra outras séries obtidas a partir da defasagem temporal da série original por uma quantidade τ (conforme citado anteriormente, no nosso caso, $\tau = 5$ horas). Nas figuras 1 e 2, são mostrados os atratores para a temperatura, reconstruídos a partir da relação entre a série original $T(i)$ e as séries $T(i + \tau)$ e $T(i + 2\tau)$, para diversos meses do ano de 2003.

Na maioria dos gráficos apresentados, pode-se notar a aglutinação de pontos em torno de um ciclo fechado. O mês de janeiro é onde tal comportamento é menos evidente. Nesse caso, o ciclo não é perceptível no gráfico. Contudo, a presença de um ciclo fechado nos demais meses é compatível com o resultado de Pinheiro e de Paulo (2011) que, utilizando a análise de Fourier tradicional, indica a existência de um período dominante de 24 horas nos dados microclimáticos de Sinop.

Tal ciclo, no entanto, não se apresenta confinado em um plano no espaço de fase e nem tem formato circular ou

elíptico, mas tem um aspecto que tende a um polígono. Contudo, a dispersão dos pontos impede que tal característica fique nítida nas figuras acima, mas ele é revelado quando a média horária é graficada no mesmo espaço de fase, conforme será visto adiante. Tal dispersão é uma medida de como o sistema é perturbado por outras variáveis que não as responsáveis pelo ciclo.

4.3 Influências da umidade relativa do ar na variação da temperatura do ar

Percebeu-se que a presença de umidade do ar faz com que o atrator se diferencie, dependendo da faixa da umidade em que se encontra, obtendo assim uma mudança não aleatória. Aparentemente, com o aumento da umidade, o atrator experimenta uma espécie de contração (uma vez que o seu volume, na faixa 3 a 6 kPa, é menor que nas demais), sem, contudo, se deslocar no espaço de fase. Uma explicação possível para isso corresponde ao alto valor do calor específico da água. Com maior concentração de vapor d'água no ar, o calor latente inibe possíveis variações na temperatura, fazendo com que os dados fiquem mais concentrados numa determinada região do espaço de fase.

4.4 Dispersão dos dados em torno da média horária

É possível observar, agora mais nitidamente, exceto para o mês de janeiro, um ciclo que corresponde a uma linha fechada. Tal ciclo é mais regular para os meses de agosto e setembro, meses correspondentes à estação seca na região. Esse fato indica que a chuva se apresenta como um fator que contribui para dispersão dos pontos no espaço de fase, o que é compatível com o perfil observado na figura 4(u), pois janeiro corresponde a um mês de chuvas. Além disso, a chuva corresponde a um fenômeno irregular que não apresenta periodicidade característica.

Assim, a presença de chuva no período correspondente aos dados teria um papel de aumentar a dispersão em torno da média horária do que propriamente mudar a periodicidade do ciclo. Nos meses de transição entre a seca e a chuva, o perfil dos atratores se apresenta menos regular, se assemelhando a um polígono, alguns deles lembrando a forma de uma estrela. Pode ser verificado que nos meses correspondentes ao período de seca, o χ^2 reduzido é próximo de 1. Isso significa que, para esses meses, a média horária é representativa do perfil da temperatura de todo o mês. Já para os meses da estação chuvosa, as médias horárias não são representativas do comportamento geral dessa variável, já que o χ^2 reduzido excede o valor 1,5.

Tal resultado também é compatível com a posição de que a chuva acrescenta dispersão dos pontos no espaço de fase e que essa dispersão tem caráter mais estocástico que periódico. Assim, pode-se dizer que, nos meses em que a chuva não exerce uma influência significativa, o perfil diário da temperatura pode ser representado pela média horária do mês.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, averiguou-se que os atratores, reconstruídos a partir da série temporal dos meses que compreendem o período seco, correspondem a um ciclo mais bem comportado, quando comparados aos meses correspondentes ao período intermediário chuvoso e seco.

Averiguou-se que o efeito da frente fria é o deslocamento do ciclo no espaço de fase, pois com a diminuição da

temperatura média, o ciclo passa a se dar em outra região do espaço de fase, que correspondem a valores menores da temperatura.

A presença de umidade do ar faz com que o atrator se diferencie dependendo da faixa da umidade em que se encontra com maior concentração de vapor d'água no ar, o calor latente inibe possíveis variações na temperatura, fazendo com os dados fiquem mais concentrados numa determinada região do espaço de fase.

Foi observado um ciclo de linha fechada nos meses, sendo na maioria dos meses, a temperatura média horária possui um comportamento bastante regular.

O teste do χ^2 demonstrou que a média horária é representativa do comportamento geral da temperatura para os meses em que a chuva não desempenha uma influência importante. Esse último fato tem uma implicação importante para a modelagem da variável temperatura. Pelo menos para os meses de seca, é possível que a temperatura possa ser modelada buscando-se um conjunto de equações determinísticas que descreva o ciclo observado (por exemplo, na figura 6(e)). Possivelmente os meses de chuva também possam ser descritos a partir desse conjunto, introduzindo-se a influência da chuva como uma perturbação estocástica.

O fato do atrator reconstituído para as médias horárias apresentar um perfil que se assemelha a um polígono de cinco lados se constitui também numa pista importante para a construção de um modelo para a temperatura em ecossistemas naturais, uma vez que se pode escolher, para tal modelagem, um conjunto de equações diferenciais que resultem numa figura no espaço de fase com essas características.

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

- ABARBANEL, H. D. I.; BROW, R.; SIDOROWICH, J. J.; TSIMRING, L. S. The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems. **Review of Modern Physics**, v. 65, n. 4, p.1343-1347, 1993.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2007. 206p.
- BASTOS, T. X. **Sistema de Produção da Pimenteira-do-reino**. Sistemas de Produção, EMBRAPA. Versão Eletrônica Dez, 2005.
- CAPISTRANO, V. B. **Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimáticas Medidas em Sinop-MT Utilizando a Teoria da Complexidade**. Cuiabá, 2007. 62p. Dissertação (Mestrado) – Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso.
- ECKMANN, J. P.; RUELLE, D. Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors. **Review of Modern Physics**, v. 57, n. 3, p. 617-656, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.57.617>
- FUJISAKA, S.; ASTILLA, C.; SCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLAAS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 69, p. 17-26, 1998.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia**. Belém: Imazon, 2003. 110p.
- MENDES, R. V. **Medidas de Complexidade e Auto-Organização**. Universidade Técnica de Lisboa, 1998. p. 3-14.
- MIRANDA, E. J.; PRIANTE FILHO, N.; PRIANTE FILHO, P. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; SULI, G. I.; FRITZEN, C. L.; NOGUEIRA, J. de S.; VOURLITIS, G. L. Maximum leaf photosynthetic lights response for three species in a transitional tropical Forest in Southern Amazonian. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 164-167, 2004.
- NICOLIS, G.; PRIGOGINE, I. **Exploring complexity**. Freeman W. H. Company, 1989. 328p.
- OLIVEIRA, G. S.; NETO, G. D.; JUNIOR, H. C.; FIGUEIREDO, J. C.; SANCHES, M. B. **Meteorologia e Ciências Ambientais**. Curso Astronáutica e Ciências de Espaço 2007.
- PALÚ, A. E. R. **Determinação do Tempo de Defasagem Mais Adequado Para Análise de Séries Temporais de Variáveis Microclimáticas Medidas Numa Floresta de Transição no Norte de Mato Grosso**. Cuiabá, 2008. 48p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física – Universidade Federal de Mato Grosso.
- PINHEIRO, M.; DE PAULO, S. Utilização da análise de Fourier no estudo de variáveis micrometeorológicas de uma floresta de transição do norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 41, n. 1, p. 39-46, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672011000100005>
- PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S., NOGUEIRA, J. S.; CAMPELO JR, J. H., NUNES, P. C.; SANCHES, L.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; 113 SILVEIRA, M.; VOURLITIS, G. L. Comparison of the mass and energy Exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon basin during the wet-dry season transition. **Global Change Biology**, v. 10, p. 863-876, 2004.
- TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 280p.
- 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>