



Aplicação do método de diagramas de recorrência (*recurrence plot*) para análise da aplicabilidade do método em serie temporal real e sintético.

Bruno Coelho Bulcão¹

Reynerth Pereira da Costa²

Francisco Otavio Miranda³

INTRODUÇÃO

Por vários anos, buscou-se criar métodos que representasse de forma clara e coesa, processos não lineares, e uma das ferramentas mais poderosas é o método de diagramas de recorrência (*Recurrence Plot*) (BUENO 2008), introduzido no ano de 1890 por, Henri Poincaré, que ganhou complemento no ano de 1987 por, Eckmann, que acrescentou o método de parcelas de recorrência, para visualização de processos dinâmicos (N. Marwan 2006).

Desta forma, os sistemas reais apresentam “certo determinismo” que, em princípio, conhecidas as condições iniciais, permite-nos fazer previsões sobre seu comportamento temporal. Sendo assim, podemos dizer que a recorrência é uma característica fundamental da natureza (SANTOS 2018).

Como exemplo, imaginamos o céu que ao amanhecer está limpo e sem nuvens, e após algum tempo, o meio é perturbado e a nuvens se formam anunciando uma chuva. Após passar o evento, a maior probabilidade é de o céu voltar a ficar parecido com seu estado inicial, ou seja, sem nuvens e totalmente limpo novamente. Isto reflete um processo que se mostra bastante complexo, mas, de uma eficiência fascinante.

Nosso proposito será de aplicar os diagramas de recorrência (*recurrence plot*), a séries temporais reais e sintéticas, onde a serie temporal sintética foi construída a partir de uma transformada de Fourier e a serie temporal real foi medida em torre micrometeorológica em região de floresta tropical.

Palavras-chave: Diagramas de recorrência; Series temporais; Analises de sinais.

¹ Graduando do Curso de Física da Universidade do Estado do Amazonas - UEA, bruno.boy94@hotmail.com;

² Graduado do Curso de Física da Universidade do Estado do Amazonas-UEA, preynerth@gmail.com;

³ Professor orientador: Doutor, Colegiado de Física -CESP-UEA -AM, ffarias@uea.edu.br;



METODOLOGIA

Em primeiro passo, utilizou-se uma transformada de Fourier em um pulso retangular de intervalos simétricos, para a construção de uma serie temporal sintética, posteriormente foram criados outros sinais a partir da mesma transformada de Fourier apenas variando as frequências. Após a construção de vários sinais com diferentes frequências, estes foram somados para se obter um sinal resultante. Na tentativa de transformar um sinal temporal sintético bem comportado, em um sinal temporal real, adicionou-se um ruído aleatório. Os sinais reais foram obtidos de medições realizadas em torre experimental, localizadas em região de floresta. Aqui foram usadas séries temporais de vento e temperatura para as análises.

A técnica de diagramas de recorrência (*recurrence plot*) foi criada para análises de trajetórias em espaço de fase em sistemas dinâmicos (ECKMANN, 1987). Uma de suas características principais é o fato de serem muito sensíveis a mudanças nas condições iniciais isso torna o método muito apropriado para estudos relacionados a series não lineares e não estacionarias. Trataremos neste trabalho mais precisamente de efeitos atmosféricos, que serão representados aqui por séries temporais turbulentas de velocidade do vento e temperatura.

A configuração deste método passa a princípio pela construção do espaço de fase, onde um sistema dinâmico pode ser reconstruído por diferentes dimensões. As características do diagrama de recorrência são representadas por diferentes texturas que indicam um comportamento subjetivo da dinâmica de um sistema em um diagrama bidimensional.

Uma propriedade fundamental desses sistemas é o fato de que, embora possam ser altamente sensíveis às condições iniciais, como o clima, por exemplo, eles tendem a passar por trajetórias similares de tempos em tempos (BUENO, 2008). Esse retorno a um estado em que o sistema já esteve anteriormente é o que se chama de recorrência.

Pontos isolados nos diagramas representam períodos curtos, embora com um grau de variabilidade elevada causando assim um afastamento bem significativo de um ponto a outro. Este afastamento é representado no diagrama de recorrência por cores mais claras, enquanto pontos mais próximos serão representados no diagrama por uma coloração mais escura. Outras características das análises são as linhas diagonais que indicam que a trajetória do sistema está revisitando a mesma região do espaço de fase no decorrer dos tempos posteriores.

Para compreender o sentido de visitar, imagine uma função seno plotada no decurso do tempo e que cruza o ponto zero a cada ciclo completo. Ao cruzar o ponto zero a função está “revisitando” um ponto em que já esteve anteriormente.



Outro aspecto são as linhas horizontais e verticais, que indicam que o sistema está totalmente estabilizado durante os períodos decorrentes. A duração da estabilidade do sistema está relacionada ao comprimento destas linhas.

O trabalho foi desenvolvido em software MatLab 2017b a partir de sistema operacional Windows disponível no laboratório de computação científica do CESP/UEA. O MATLAB 2017b será aplicada na construção dos diagramas de recorrência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao aplicar a serie temporal sintética no diagrama de recorrência (*recurrence plot*), observou-se um sinal muito bem comportado, o que já era de se esperar por ser um sinal determinístico. Ao construir uma serie temporal sintética em um software, conhecemos todos os padrões e frequências deste sinal.

A construção do diagrama de recorrência (*recurrence plot*), da série sintética trouxe linhas horizontais e verticais de cores bem claras em todo o diagrama. As linhas horizontais e verticais no diagrama representam bem esse comportamento determinístico do nosso sinal sintético.

Partindo-se então para o sinal real medido durante as campanhas experimentais, utilizou-se um sinal de velocidade do vento, sinal coletado com frequência de até 20 Hz.

Ao aplicar o diagrama de recorrência (*recurrence plot*), na série temporal real, obteve-se uma textura em forma de tabuleiros de damas, onde são pequenos agrupamentos em formas de tabuleiros que se repetem ao longo do diagrama, que nos passa o entendimento que o sistema está visitando diferentes áreas do atrator, isso nos diz que nesse caso, embora o sistema seja de tendência caótica, seu comportamento apresenta padrões determinísticos, isto é, embora pequenas perturbações nas condições iniciais causem divergências exponenciais nos estados, o sistema retornará a trajetórias similares de tempos em tempos de forma determinística.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi constatado que o método de recorrência, pode ser aplicado de forma satisfatória, tanto em series temporais sintética, quanto a series temporais reais medidas acima de florestas. Considerasse que os resultados são promissores, do ponto de vista prático, embora, muitos outros testes se façam necessários.

Nesse primeiro momento o objetivo principal era o de verificar se seria possível ou não a aplicação deste método de diagrama de recorrência em serie temporais reais reconhecidamente turbulentas. Agora, de posse dos resultados preliminares que confirmam a possibilidade de tal aplicação a essas series e dos testes de recorrência a series temporais reais, serão realizados testes mais profundos para aumentar a robustez das análises e dos testes a eles associados.

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].



BIBLIOGRAFIA

Gilat, Amos: INICIAÇÃO AO AMBIENTE MATLAB®: com aplicações em engenharia. in: Rafael Silva Alípio; revisão técnica: Antônio Pertence Júnior. -4. Ed. MATLAB®. Porto Alegre: Bookman, 2012, p. 5-6.

N. Marwan (2006): Norbert Marwan, M. Carmen Romano, Marco Thiel, Jürgen Kurths: Recurrence plots for the analysis of complex systems: Nonlinear Dynamics Group, Institute of Physics, University of Potsdam, Potsdam 14415, Germany: November 2006.

M.A. Riley (1998): R. Balasubramaniam, M.T. Turvey: Center for the Ecological Study of Perception and Action, Department of Psychology, University of Connecticut, 406 Babbidge Road, Storrs, CT 06269, USA: November 1998

SANTOS (2018): RECORRÊNCIA ESPACIAL APLICADA AO ESTUDO DE ESTADOS QUIMERA: *Tese apresentada ao Programa de PósGraduação em Ciências, área de concentração Física em (2018).*

BUENO (2006): Visitando vizinhos uma análise da série histórica de produção de bens de capital no Brasil utilizando diagramas de recorrência: Professor Associado do Departamento de Economia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, 2006.