

# Dinâmica não-linear de eletroscilogramas rítmicos do rato

Luiz Antonio Baccalá<sup>1</sup>, Koichi Sameshima<sup>2</sup>, Milkes Yone Alvarenga<sup>3</sup> & Hyun Mo Yang<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Comunicações e Sinais, Depto Eng. Eletrônica, Escola Politécnica, USP;

Caixa Postal 61548, cep 05424-970, São Paulo, SP, Brasil.

email: baccala@lcs.poli.usp.br

<sup>2</sup> Disciplina de Informática Médica e Laboratório de Neurologia Experimental, Faculdade de Medicina, USP;

<sup>3</sup> Instituto de Matemática, Estatística e Ciência da Computação, UNICAMP.

**Resumo** - Este trabalho examina resultados preliminares do uso das técnicas não-lineares e não-paramétricas aplicadas à predição de ondas teta observadas no rato mostrando que estas se caracterizam por não-linearidades e determinismo apreciável.

**Abstract** - This work examines preliminary results of the employment of nonlinear nonparametric prediction of the theta waves in rats, showing them to be characterized by appreciable nonlinearity and determinism.

## Introdução

Seja no alerta, seja durante episódios oníricos observa-se atividade elétrica cerebral rítmica em várias estruturas corticais e subcorticais do sistema nervoso central do rato --- as chamadas ondas teta -- cujo exame visual revela um padrão aproximadamente periódico superposto a ruído. Durante o sono, estes padrões podem perdurar desde alguns segundos até vários minutos.

Para estudar a gênese das ondas teta durante o comportamento onírico temos nos valido de técnicas de identificação de sistemas<sup>3</sup>, as quais, embora, permitam revelar dados importantes (p. ex: o sentido do fluxo de informação entre as diversas estruturas neurais); sofrem a séria limitação de se basearem no uso exclusivo de predição linear. Neste trabalho, fazemos um estudo piloto de técnicas não-lineares de predição procurando compará-las, e futuramente incorporá-las aos métodos presentemente disponíveis de identificação citados. Em parte, acredita-se que este tipo de generalização possa ter um papel essencial no entendimento de vários fenômenos de origem presumidamente dinâmica como se suspeita que seja a gênese de episódios epilépticos.

Assim, neste trabalho procuramos avaliar o grau de determinismo e de não-linearidade que caracteriza uma série temporal proveniente da medida de ondas teta. Para isso, utilizamos e comparamos alguns métodos que se originaram no estudo de dinâmica não-linear.

## Metodologia

Por meio de múltiplos pares de eletrodos implantados cronicamente, foram obtidos eletroscilogramas corticais e subcorticais registrados simultaneamente em papel e

armazenados em computador (amostrando-se a 256Hz).

Para efeitos de comparação nos restringimos ao uso de três métodos de predição não-linear não paramétrica, (a) simplex<sup>2</sup>, (b) média de  $L$  pontos vizinhos<sup>3</sup> e (c) de Casdagli<sup>4</sup>, os quais se baseiam na reconstrução dimensional por embutimento e pela partição da série em dois subconjuntos: o dos dados de ajuste e o dos dados de teste. Do exame da capacidade de predição sobre o subconjunto de teste procura-se inferir o determinismo intrínseco das séries temporais estudadas. Para avaliar as não-linearidades que caracterizam estas séries, procura-se comparar os coeficientes de correlação de predição da série original com aqueles obtidos para séries substitutas ("surrogates") (10 ou mais realizações) que são séries construídas para apresentarem características de média e de auto-correlação idênticas às da série original. O uso de séries substitutas permite avaliar a linearidade que uma dada série apresenta; a hipótese de linearidade é rejeitada se a capacidade de predição destas séries substitutas for significativamente diferente daquela da série original<sup>5</sup>.

## Resultados

Para ilustrar, usamos o registro de ondas teta contendo pouco ruído aditivo, cujos primeiros 3.9s

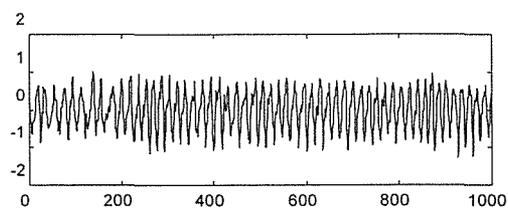


Figura 1  
estão ilustrados na Figura 1. Do registro completo

deste sinal usaram-se 11.7s para o subconjunto de construção do preditor e igual período para o subconjunto de dados de teste. Com esta partição de dados contruiu-se o diagrama de fase para vários valores de dimensão  $p$  e de lapso  $\tau$  de embutimento usando os vários algoritmos de predição cujos resultados de predição estão expressos pelo cálculo dos coeficiente de correlação,  $r$ , entre os valores preditos e seus correspondentes valores verdadeiros do subconjunto de teste.

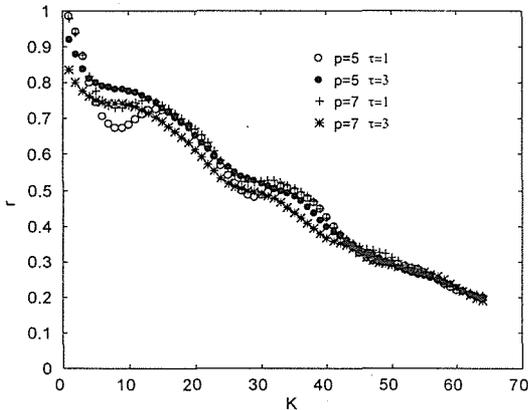


Figura 2

A Figura 2 resume o desempenho da predição pelo método (b) em função da escolha de  $p$  e  $\tau$  para  $L=40$ . Assim, para  $p=5$  e  $\tau=3$  o gráfico de coeficiente de correlação da predição (bola cheia) decresce monotonicamente no tempo (denotado por  $K$ ), o mesmo não ocorre para  $\tau=1$ . Dependência similar foi observada nos outros dois algoritmos onde  $p$  e  $\tau$  são também os fatores críticos que determinam o desempenho da predição.

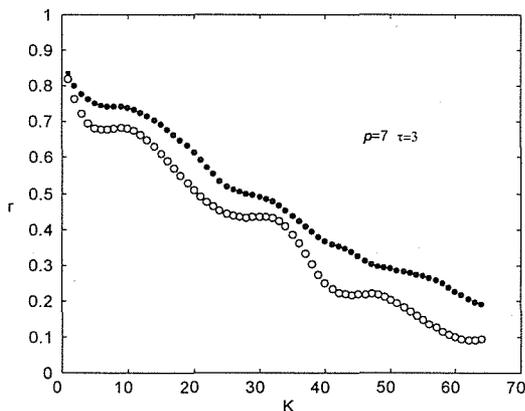


Figura 3

A Figura 3, usando o método (b), ilustra a comparação do coeficiente de correlação da série original (linha cheia) com o das séries substitutas. A melhor previsibilidade observada por um coeficiente de correlação sempre maior para a série

original fala em favor do caráter essencialmente não-linear da série original uma vez que o algoritmo não-linear captura detalhes da série original que estão ausentes nas séries substitutas.

Observe-se que o mesmo tipo de degradação da previsibilidade no caso das séries substitutas aconteceu para os algoritmos (a) e (c).

## Discussão/Conclusões

Pelo fato de as séries substitutas terem a sua preditibilidade diminuída em relação à série original pode-se concluir pela existência de significativa componente não-linear nas ondas tetas medidas a partir do sistema nervoso do rato. Sistemas totalmente determinísticos<sup>2,4</sup> se caracterizam por apresentar coeficiente de correlação unitário ( $r=1$ ) para  $K=1$ ; a extrapolação visual das curvas de coeficiente de correlação de previsão das séries originais se caracterizam por  $r < 1$ , compatível com a presença de componente puramente estocástica adicionada ao sinal. Por fim, o decaimento lento de  $r$  em função do lapso  $K$  sugere que o sinal se caracterize por apreciável componente determinística<sup>2,4</sup> caracterizando as ondas teta estudadas neste trabalho.

## Agradecimentos

Este trabalho contou com o suporte financeiro do CNPq, da FAPESP, do HCFMUSP e da FFM.

## Referências.

- <sup>1</sup>Sameshima, K., Baccala, L.A., Ballester, G., Valle, A.C. & Timo-Iaria, C., Causality analysis of rhythmic activities of desynchronized sleep in the rat, 26th Annual Meeting Society for Neuroscience, Washington, DC, 1996
- <sup>2</sup>Sugihara, G. & May, R.M., Nonlinear forecasting as a way of distinguishing chaos from measurement error in time series, *Nature*, 344 (1990) 734-741.
- <sup>3</sup>Kaplan, D. and Glass, L., *Understanding Nonlinear Dynamics*, Springer-Verlag, 1995.
- <sup>4</sup>Casdagli, M., Chaos and deterministic versus stochastic non-linear modeling, *J. R. Statist. Soc. B*, 54 (1991) 303-328.
- <sup>5</sup>Theiler, J., Galdrikian, B., Longtin, A., Eubank, S. & Farmer, J.D., Using surrogate data to detect nonlinearity in time series. In M. Casdagli & S. Eubank (Eds.), *Nonlinear Modeling and Forecasting*, Vol. XII, Addison-Wesley Publishing Company, Redwood City, 1992.