



• **MODELO DINÂMICO DO TIPO HINDMARSH-ROSE (HR) PARA NEURONIOS ARTIFICIAS: ESTUDO DO CAOS**

Leiliane Borges Cunha – leilianebc@hotmail.com

Universidade Federal do Pará-UFPA, Faculdade de Engenharia Eletrica-FEE

Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá.

66075-110, Belém - Pará

Bruno Igor Dias de Sousa – igordias15@hotmail.com

José Augusto Lima Barreiros – barreiro@ufpa.br

***Resumo:** Até recentemente, caos era considerado apenas um campo científico de interesse de pesquisadores que estudavam o comportamento de sistemas dinâmicos não lineares, com certa estrutura matemática. Deste modo, analisavam-se apenas as trajetórias oriundas deste sistema no espaço de estados e verificava-se: a ocorrência de divergência, ou se iam para um determinado ponto fixo, ou se permaneciam em determinada região do espaço, denominada de região de atração (ou simplesmente atratores, que no caso caótico, recebiam o nome de “atratores estranhos”). Na engenharia, suas aplicações são inúmeras, principalmente na biologia, e muitos dos sistemas estudados atualmente recaem em equações diferenciais não lineares. Com isso, o conhecimento de assuntos como atratores, não linearidade, aperiodicidade e o desenvolvimento de métodos matemáticos são de grande ajuda para prever como se comportarão tais sistemas. O modelo estudado abrangeu todos esses aspectos, incluindo a parte computacional que permitiu a obtenção das figuras relacionadas ao sistema. Quanto à motivação para a escolha do modelo de Hindmarsh-Rose, deveu-se ao fato de este ser bastante condizente com o neurônio biológico, visto que simula cada um dos estados observados em um neurônio real, inclusive o caótico, estado não simulado por outros modelos do tipo. Com isso, o trabalho proposto visa estudar as características principais do sistema caótico aplicadas em um neurônio isolado, baseando-se no modelo de Hindmarsh-Rose (HR) para a transmissão de impulsos. Para o desenvolvimento deste modelo matemático, foram usadas equações diferenciais não lineares, características principais do sistema caóticos. Como resultado pôde ser obtido atratores periódicos e caóticos referentes ao modelo.*

***Palavras-chaves:** sensibilidade, trem de pulso, comportamento caótico,*

Realização:



Organização:





1. INTRODUÇÃO

O sistema nervoso humano possui vários tipos de neurônios, diferindo um do outro pelo tamanho, estrutura e função. Eles são constituídos pelo axônio, dendritos e corpo celular. A entrada das informações de outros neurônios ocorre nos dendritos e através das sinapses, as informações são processadas no corpo celular e é transmitida para a extremidade do axônio. São com esses tipos de neurônios que são construídos as chamadas “redes neurais artificiais”, modelo matemático aproximado de sistemas neurais biológicos. Com base nisso, foi criado um modelo que reproduzisse o comportamento de bursting (estouro) dos neurônios.

O modelo usado para descrever o processo foi baseado no modelo de Hindmarsh-Rose (HR). O modelo matemático mostra o comportamento caótico que surge quando certas quantidades de correntes são injetadas através de um eletrodo intracelular em um neurônio isolado. Assim o caráter caótico de resposta de neurônios reais deve ser considerado no modelamento de neurônios biológicos. Esta é mais uma motivação para a escolha do modelo HR em nosso trabalho.

1.1. Modelo matemático

A Equação (1) é a modelagem caótica de um neurônio isolado, onde x , y e z correspondem, respectivamente, ao potencial da membrana, ao conjunto de canais iônicos associados ao transportes de Na^+ e K^+ e a captura dos outros canais iônicos presentes; B controla a frequência de Spiking e escolhe o comportamento de Bursting e spiking; I é a corrente DC (entrada); r é responsável em controlar a variação da variável Z (quando ocorre o comportamento de spiking, r controla a frequência de spiking e quando ocorre o comportamento de bursting, r afeta o numero de spikes por burst); e S é responsável pela adaptação dos neurônios.

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= b * x^2 - x^3 + y - z + I \\ \frac{dy}{dt} &= 1 - 5 * x^2 - x^3 - z \\ \frac{dz}{dt} &= r * [s * (x + x_{rest}) - z\end{aligned}\tag{1}$$

1.2. Simulação

Tabela 1- Parâmetros das equações do modelo HR

$b=3$	$r=0.0021$	$X_{rest}=8/5$	$I=1.1;3.0;3.15;5.0$	$S=4$
-------	------------	----------------	----------------------	-------

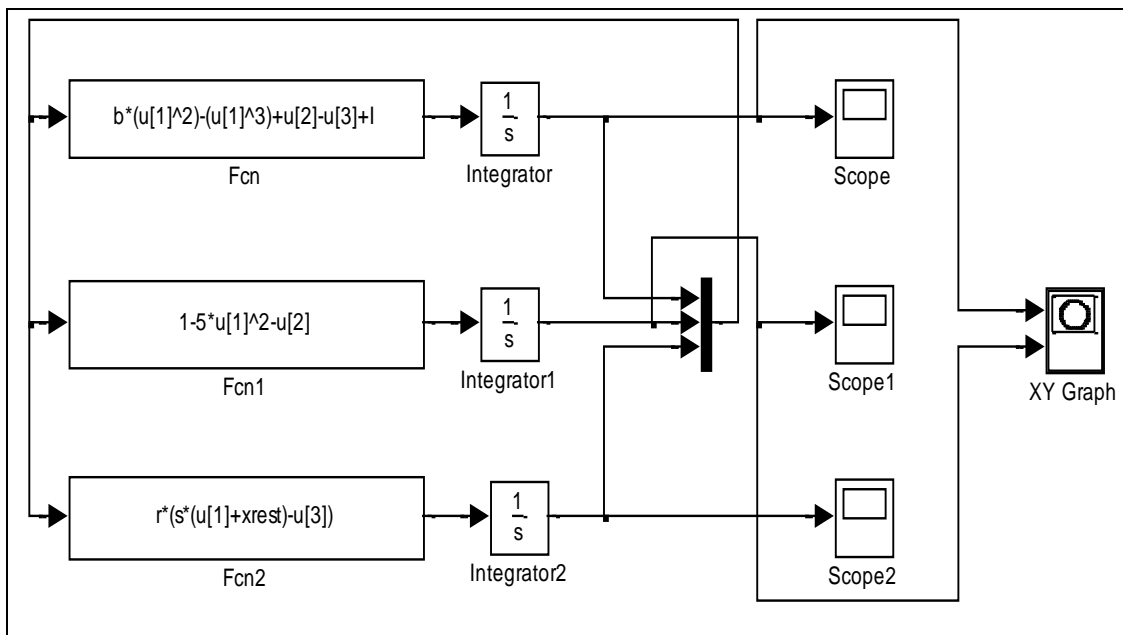


Figura 1 - Diagrama de bloco do sistema

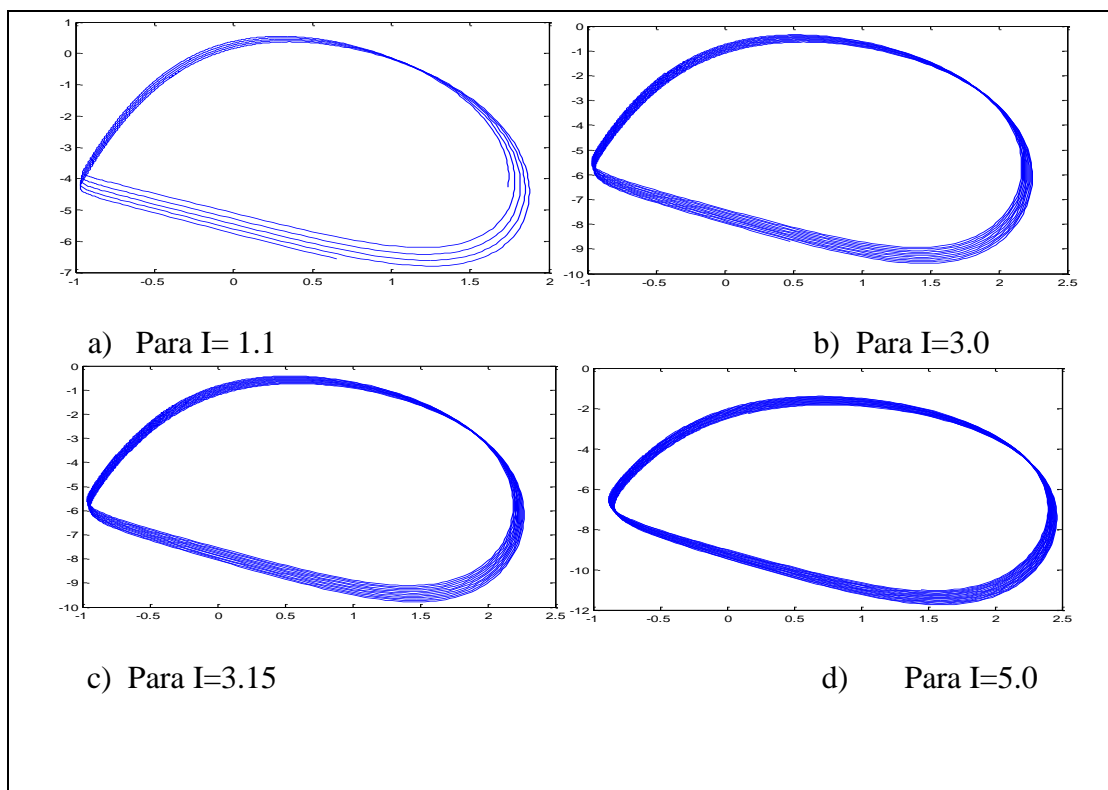


Figura 2 - Atratores caóticos.

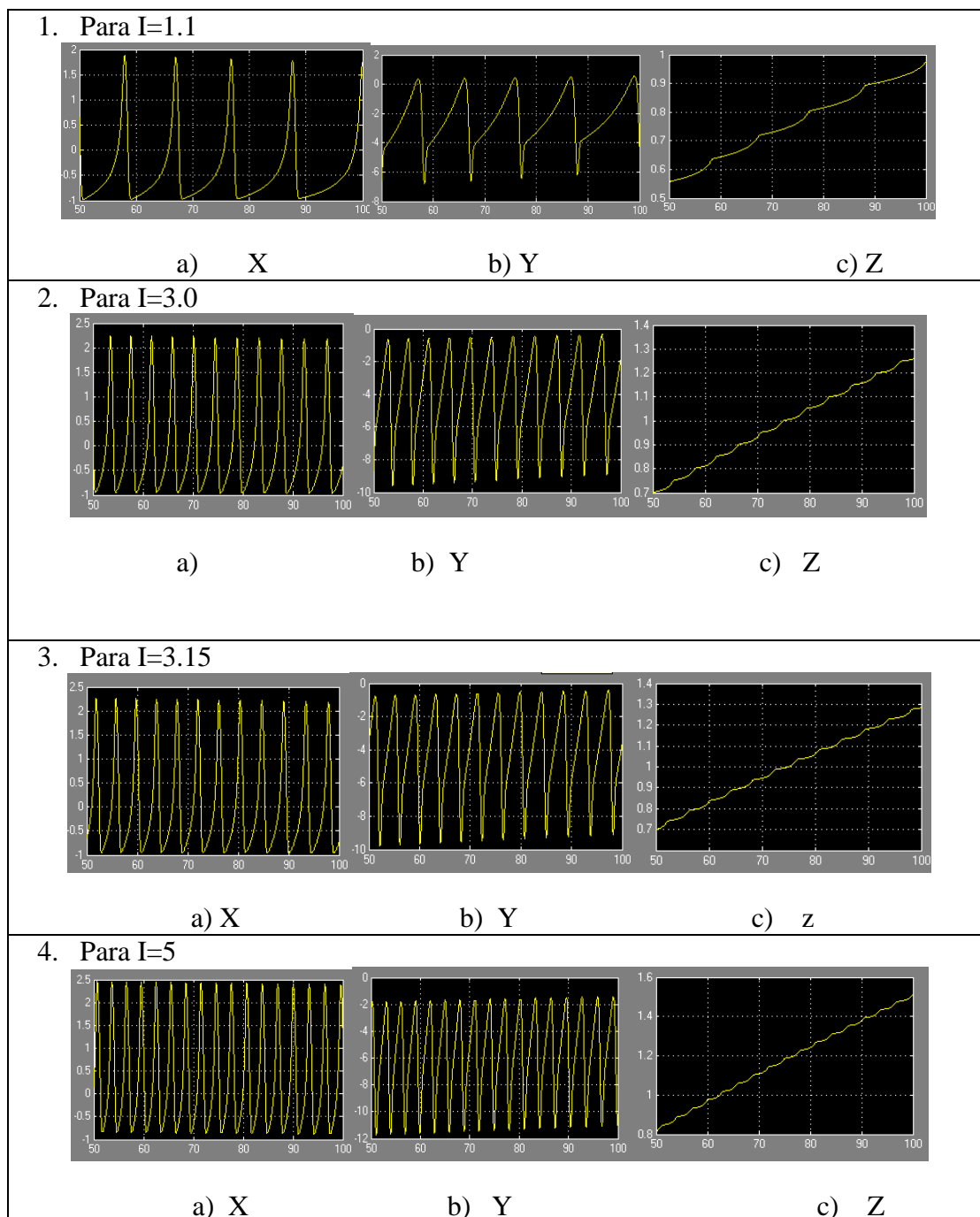


Figura 3 - Serie temporal de X, Y e Z.



1.3. Resultados computacionais

O comportamento caótico do sistema simulado mostra varias características da dinâmica caótica, como aperiodicidade, sensibilidade as condições iniciais, aleatoriedade, como mostra a Figura 2 e a Figura 3. Verifica-se que para determinados valores de I (corrente DC injetada), o sistema apresenta um comportamento periódico, e variando insignificamente o mesmo parâmetro, o sistema vai perdendo a periodicidade e caminhando para a aleatoriedade, mostrando assim um comportamento sensível as condições iniciais, ou seja, uma característica notável deste modelo, com apenas três equações diferenciais, foi sua capacidade não apenas de apresentar salvas de potenciais de ação, mas a sensibilidade as condições iniciais que produzem salvas de potenciais de ação com tempo de duração irregulares, como os encontrados em neurônios biológicos.

As variáveis Y e Z são responsáveis em gerar os trens de pulsos vistos na Figura 3. Logo, baseado no modelo de HR, foram obtidas series temporais para diferentes valores de I , demonstrando o comportamento dinâmico do sistema quando a corrente DC sofre variações numéricas.

Analisando as series temporais, observa-se que a Figura 3.1, apresenta o comportamento de neurônios de trem de pulsos, dado um estímulo constante de corrente, mostrando que este grupo responde com sequencias de pulsos que são interrompidos por longos intervalos de tempo.

A Figura 3.2 e Figura 3.3, apresentam neurônios de pulsos rápidos, ou seja, responde a corrente injetada com uma serie de pulsos que não mostra nenhum tipo de transitório de adaptação.

A Figura 3.4, mostra neurônios de pulsos regulares, que respondem a corrente injetada com uma serie de pulsos onde os intervalos de tempos entre ele aumenta ate que um estado estacionário de disparos periódicos seja alcançado. Isto sugere que esses neurônios sofre um tipo de adaptação ao estímulo recebido.

2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o auxilio da pesquisa bibliográfica e com as implementações de sistemas através de simulações, pode ser possível fazer um estudo sobre o sistema caótico e suas aplicações em sistemas dinâmicos e complexos não lineares, com parâmetros variáveis, isto pode ser alcançado através das simulações feitas com os recursos do SIMULINK e MATLAB, apresentadas neste trabalho. Mostrou-se resultados das simulações que modela cada sistema, verificando em cada um deles, o comportamento caótico, como a presença de atratores. Com os resultados obtidos das simulações, foi confirmado que para determinados valores dos parâmetros do sistema em estudo, o mesmo vai perdendo a estabilidade e passa a oscilar, ou seja, a oscilação vai duplicando sua periodicidade e vai caminhando para a aparente aleatoriedade e imprevisibilidade. São esses tipos de resultados, que passa a ser de grande interesse na engenharia, em sistemas de controle.

3. AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico) que financiou esta pesquisa.

Ao orientador Professor José Augusto Lima Barreiros pelo apoio e orientação na elaboração desta pesquisa.



Ao Laboratório de Controle (LACUS) da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará (UFPA) que forneceu o espaço para o desenvolvimento desse trabalho.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIAS

D.E.POSTNOV;O.V.SOSNOVTSEVA; S.Y.MALOVA; E.MOSEKILDE. Complex Phase Dynamics in Coupled Bursted. Phys.Rev.E,New York, v.67:p.016215,2003.

M.S.MAINIERI; R.ERICHSEN;L.G.BRUNNET. Time Evolution of Coherent Structures in Network of Hindmarsh-rose Neurons. Physica A, Amsterdam, v.345:p663-671,2005.

R.D.PINTO;P.VARONA;A.R.VOLKOVSKII;A.SZUCS;H.D.I.ABARBANEL;M.I.RABINO VICH. Synchronous Behavior of Two Coupled Electronic Neurons. Phys.Rev.E,New York, v.62:p.2644-2656,2000.

X.J.WANG. Genesis of Bursting Oscillations in the Hindmarsh-Rose Model and Homoclinicity to a Chaotic Saddle. Physica D, Amsterdam, v.62:p.263-274,1993.

Dynamic model of the type Hindmarsh-Rose (HR) for artificial neurons: Study of chaos

Abstract: *Until recently, chaos was considered merely a scientific field of interest to researchers studying the behavior of nonlinear dynamical systems with some mathematical structure. This way, analyzing only the trajectories of system originated in the state space and was examine: the occurrence of divergence, or went to a certain fixed point, or remained in a certain region of space, called the region of attraction (or simply attractors, that in the case chaotic, received the name of "strange attractors"). In engineering, its applications are numerous, especially in biology, and many of the systems studied currently fall into non-linear differential equations. Thus, knowledge of subjects such as attractors, nonlinearity, aperiodicity and mathematics methods are of helpful to predict how such systems behave. The model studied included all these aspects, including the computer that allowed the obtainment of figures related to the system. Regarding the motivation for choose the model of Hindmarsh-Rose, was due to the fact that this is quite consistent with biological neuron, since it simulates each a of the states observed in a real neuron, including the chaotic, state not simulated by other type models. Thus, the proposed work objective to study the main features of the chaotic system applied in a isolated neuron, based on the model of Hindmarsh-Rose (HR) for the transmission of impulses. To develop this mathematical model, was used non-linear differential equations, main features of the chaotic system. As a result, could be obtained periodic and chaotic attractors for the model*

Key-words: *sensitivity, pulse train, chaotic behavior*



COBENGE
XL CONGRESSO BRASILEIRO
DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA
03 a 06 de Setembro **2012**
Belém - PA