

## ESTUDO SOBRE UM SISTEMA FÍSICO RÁDIO-OSCILADOR

Vinícius Wiggers<sup>1</sup>, Paulo César Rech<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico(a) do Curso de Licenciatura em Física CCT - bolsista PIBIC/CNPq

<sup>2</sup> Orientador, Departamento de Física CCT – paulo.rech@udesc.br

Palavras-chave: Atratores escondidos. Espaços de parâmetros. Sistema oscilador.

O objetivo da pesquisa consiste no estudo de espaços de parâmetros diferentes do analisado por Kuznetsov *et al* [2], buscando sempre observar o comportamento do sistema através do cálculo dos expoentes de Lyapunov, diagramas de bifurcação e cálculo de períodos. O sistema dinâmico em questão pode ser interpretado como um circuito elétrico oscilante, proposto por Kuznetsov *et al* [1], como um exemplo simples de sistema que apresenta comportamento quasiperiódico. O termo atrator escondido, presente no primeiro artigo citado, refere-se a um atrator sem a presença de um ponto fixo.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = (\lambda + z + x^2 - \beta x) \frac{dx}{dt} - \omega_0^2 x,$$

$$\frac{dz}{dt} = \mu - x^2$$

O sistema de equações diferenciais descreve um gerador de oscilações forçadas acopladas a um sistema de recarregamento de energia. Os parâmetros  $\omega_0$  e  $\beta$  representam a frequência de oscilação e o grau de subcriticalidade do sistema, respectivamente. Os parâmetros  $\mu$  e  $\lambda$  estão relacionados ao recarregamento de energia do gerador.

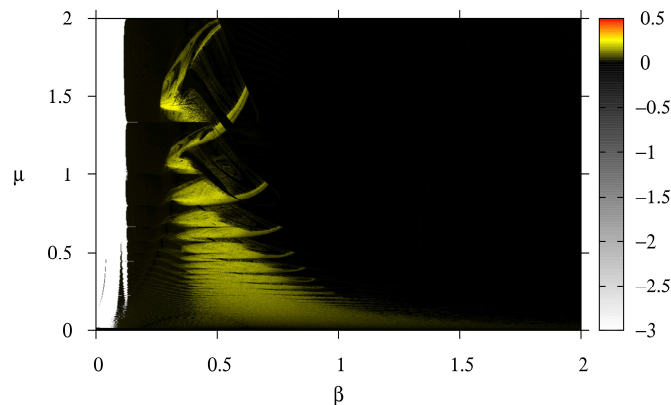
A metodologia utilizada na pesquisa consistiu do uso de simulações numéricas, através do uso de programas escritos nas linguagens de programação C e Fortran, feitas no laboratório de dinâmica não linear do CCT. Com os resultados obtidos nas simulações, foram geradas as figuras para análise do comportamento do sistema.

O primeiro resultado a ser buscado foi a reprodução do espaço de parâmetro apresentado no artigo de Kuznetsov *et al* [2]. O espaço  $\omega_0 \times \mu$ , com valores de  $\omega_0$  variando entre 0,0 e  $\pi$ ,  $\mu$  entre 0,0 e 2,0, e  $\lambda$  e  $\beta$  fixos em 0,0 e 0,5 respectivamente. Nesse espaço de parâmetro observa-se a presença de uma região de divergência (quando o sistema tende ao infinito), além de regiões de periodicidade, quasiperiodicidade e caos. Analisando o diagrama de bifurcação, encontram-se regiões de períodos 2, 3 e 5, no intervalo de  $\omega_0$  entre 1,32 e 1,92.

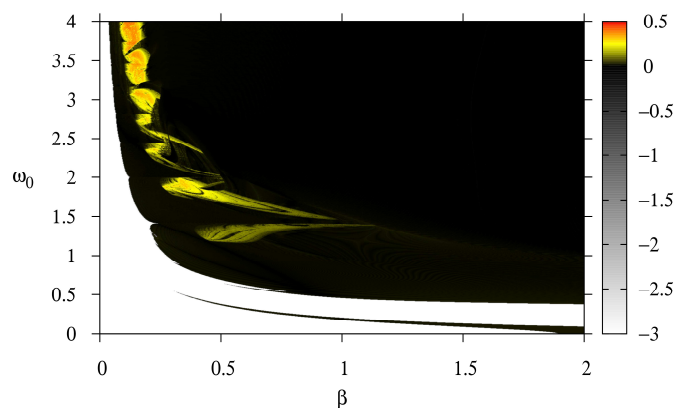
O segundo espaço de parâmetro a ser estudado foi  $\beta \times \mu$ . Neste espaço, os valores de  $\beta$  e  $\mu$  variam entre 0,0 e 2,0, e  $\lambda$  e  $\omega_0$  são mantidos fixos em 0,0 e 2,0 respectivamente. Assim como no caso anterior, também encontram-se regiões de divergência, periodicidade, quasiperiodicidade e caos. A partir do diagrama de bifurcação, encontram-se bifurcações com períodos 2, 3, 5, 7 e 9, no

intervalo de  $\beta$  entre 0,30 e 0,81. Na figura 1 abaixo, é mostrado o espaço de parâmetro, as cores representam os valores do mais alto expoente de Lyapunov.

Por fim, foi investigado o espaço de parâmetro  $\beta \times \omega_0$ . Os valores de  $\beta$  e  $\omega_0$  variam entre 0,0 e 2,0 e 0,0 e 4,0 respectivamente. O valor de  $\mu$  é mantido constante em 2,0 e  $\lambda$  em 0,0. Mais uma vez, é possível identificar regiões de divergência, periodicidade, quasiperiodicidade e caos. Analisando o diagrama de bifurcação, encontram-se bifurcações com períodos 2, 4, 5 e 8, no intervalo de  $\beta$  entre 0,08 e 0,47.



**Fig. 1:** Espaço de parâmetro  $\beta \times \mu$



**Fig. 2:** Espaço de parâmetro  $\beta \times \omega_0$

#### Referências

- [1] Kuznetsov A P, Kuznetsov S P and Stankevich N V 2010 A simple autonomous quasiperiodic self-oscillator Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 15 1676–81
- [2] Kuznetsov A P, Kuznetsov S P, Mosekilde E and Stankevich N V 2015 Co-existing hidden attractors in a radio-physical oscillator system J. Phys. A: Math. Theor. 48 125101