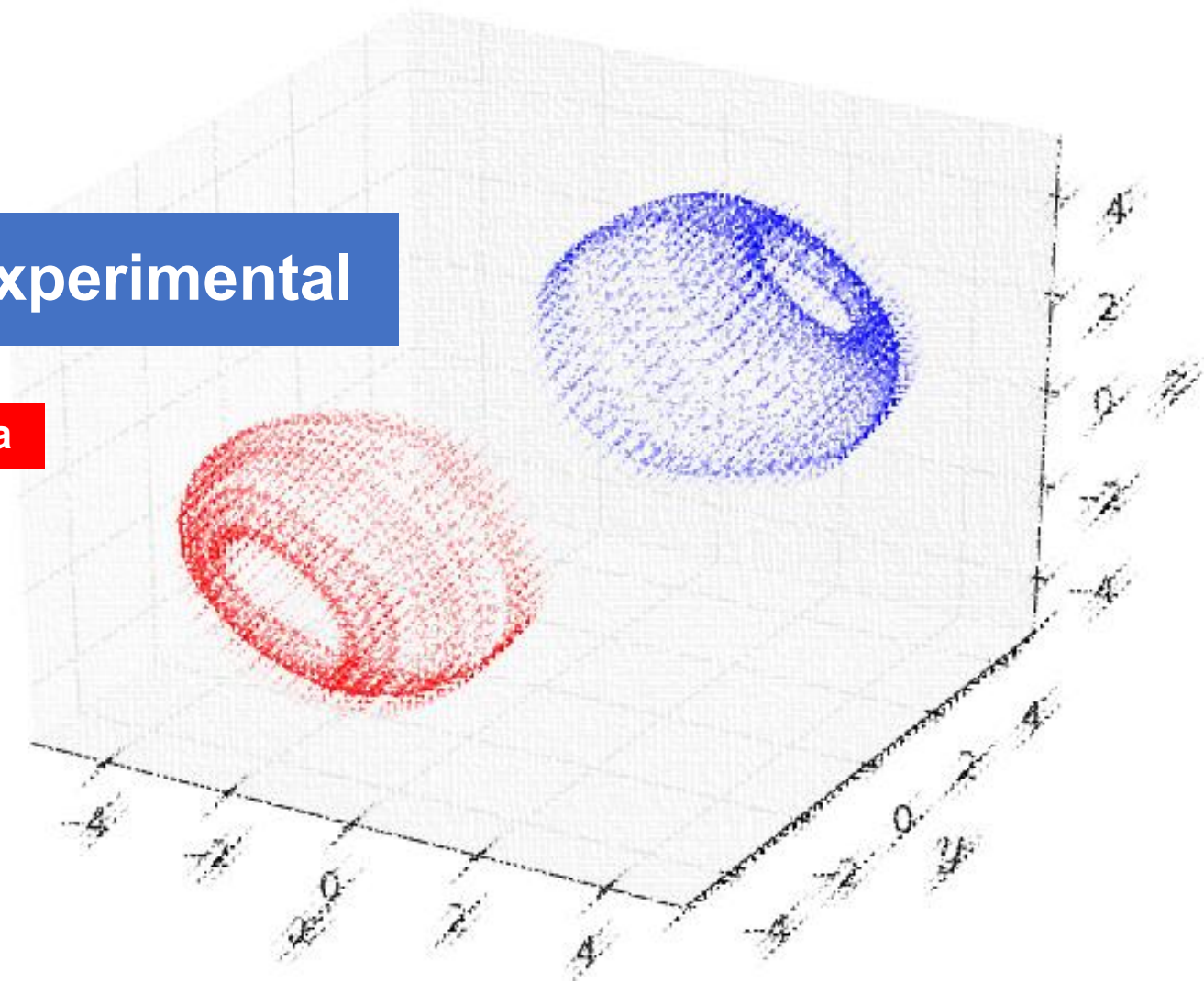


Circuito de Chua experimental

Aluno: Francisco Felipe G. de Sousa

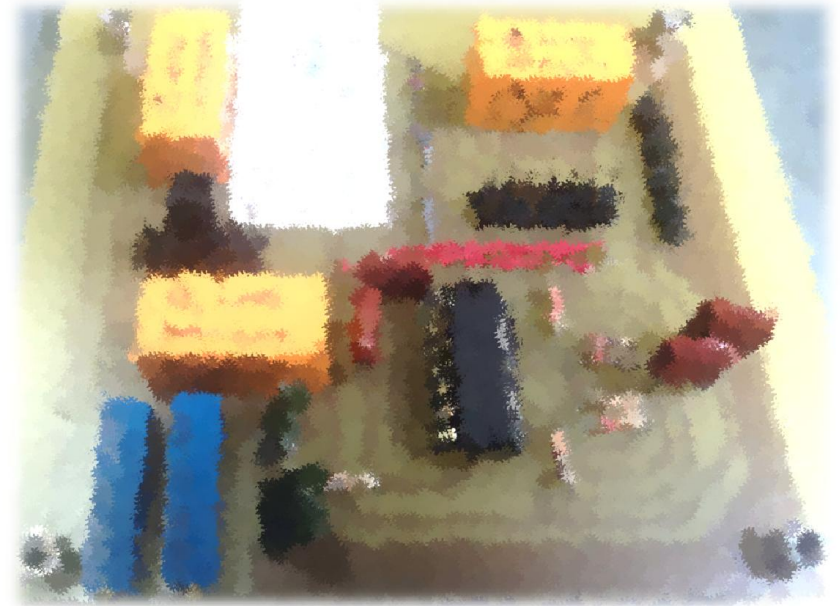


Circuito de Chua experimental

O circuito de Chua experimental

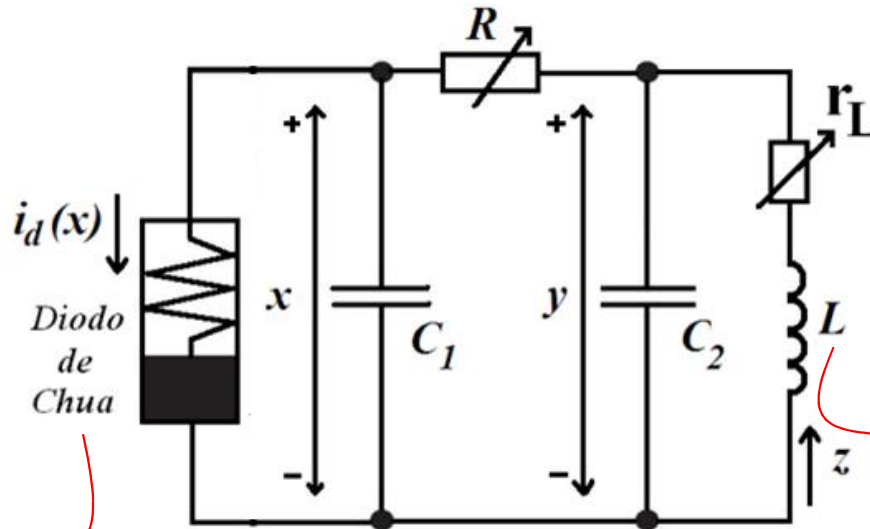
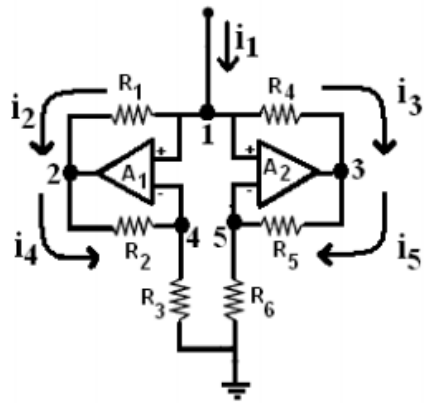
Alguns resultados preliminares

Conclusões e perspectivas futuras



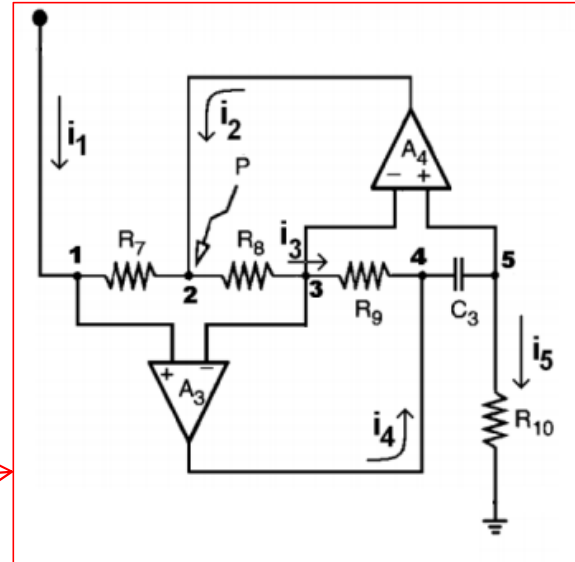
O Circuito de Chua experimental

Implementação eletrônica
do Diodo de Chua

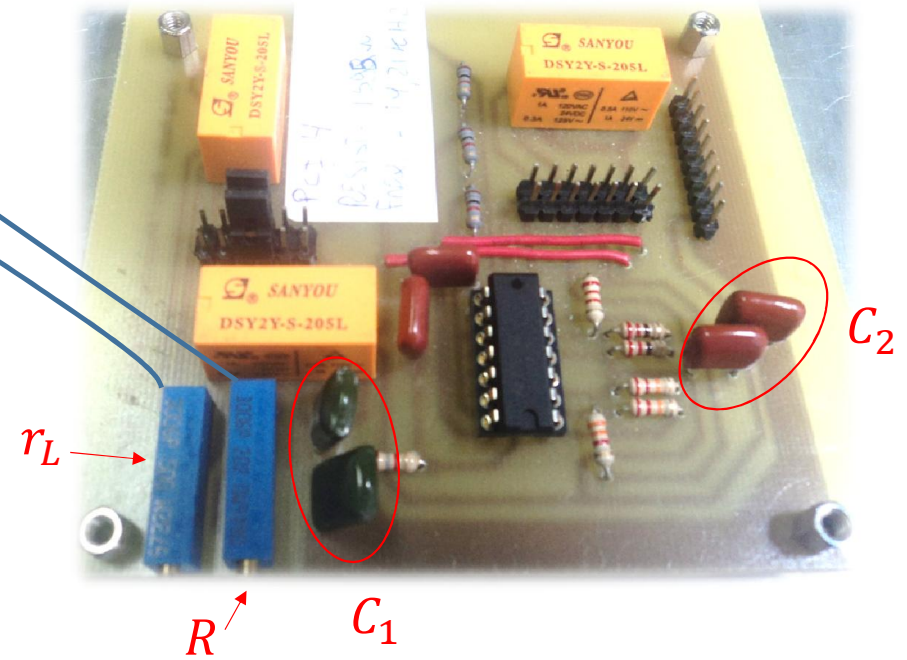
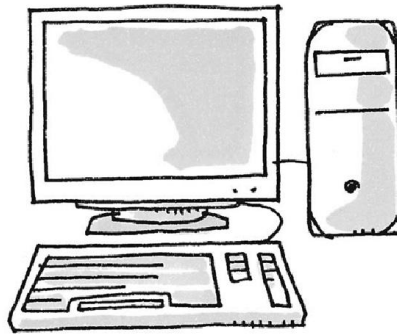
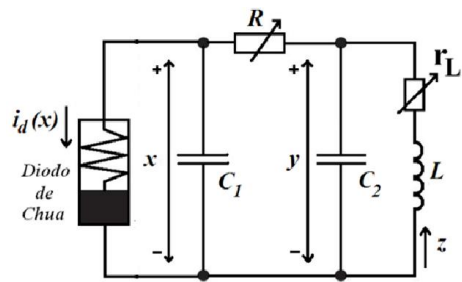


$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{(y-x)}{RC_1} - \frac{i_d(x)}{C_1} \\ \frac{dy}{dt} = \frac{(x-y)}{RC_2} - \frac{z}{C_2} \\ \frac{dz}{dt} = -\frac{y}{L} - z \frac{r_L}{L} \end{cases}$$

x tensão do capacitor C_1 .
 y tensão do capacitor C_2 .
 z tensão do indutor L .
 $i_d(x)$ corrente no diodo de Chua.



Implementação do indutor
eletrônica.

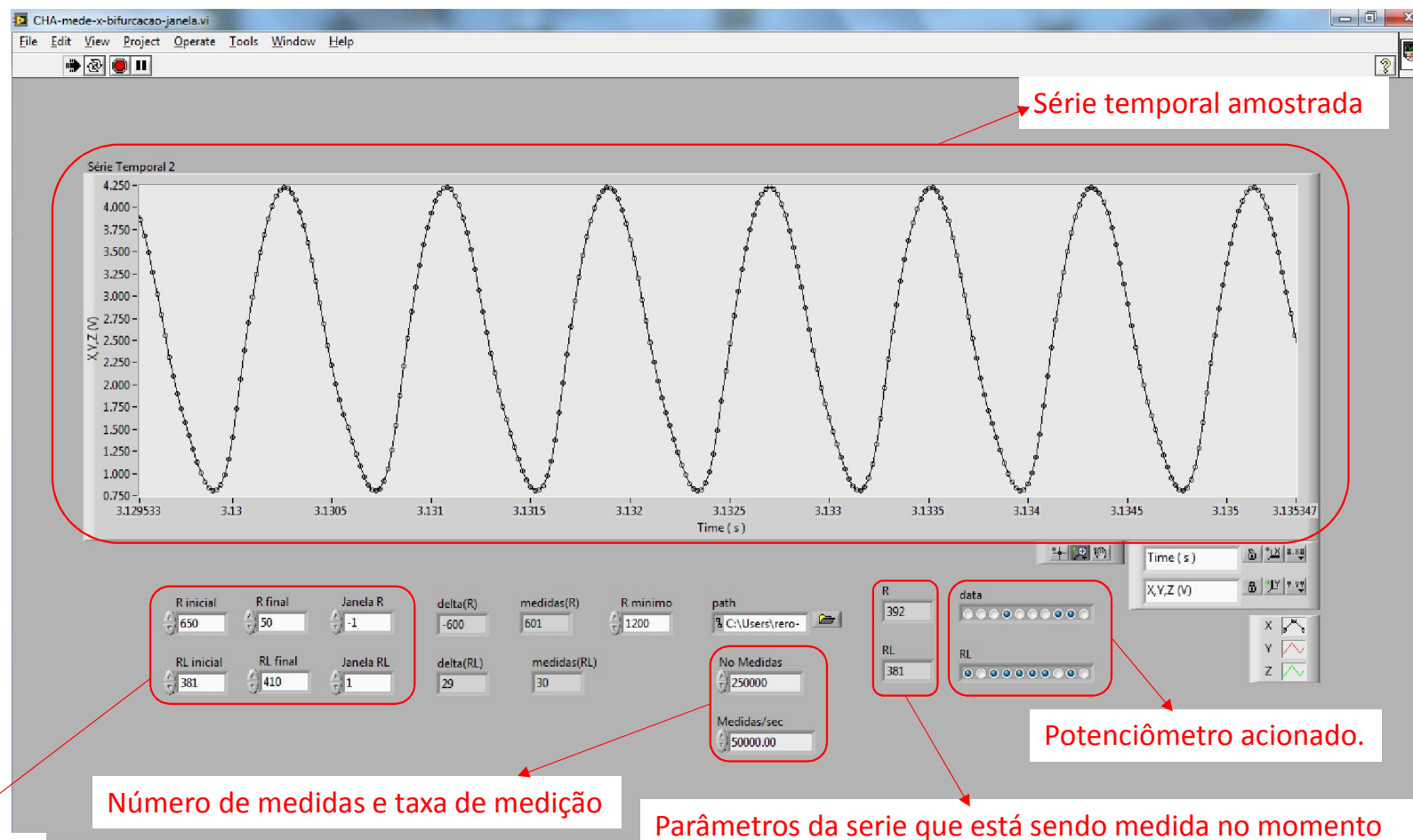


A montagem permite a variação dos parâmetros r_L e R através do controle de um potenciômetro digital. Esse controle é feito através de um programa desenvolvido em Labview.

Circuito de Chua Experimental

A obtenção das series temporais.

Para a aquisição das series temporais foi desenvolvido o programa ao lado, capaz de gravar os valores da variável x a uma taxa de 5000 medidas/s, para cada um do valor dos parâmetros r_L e R .

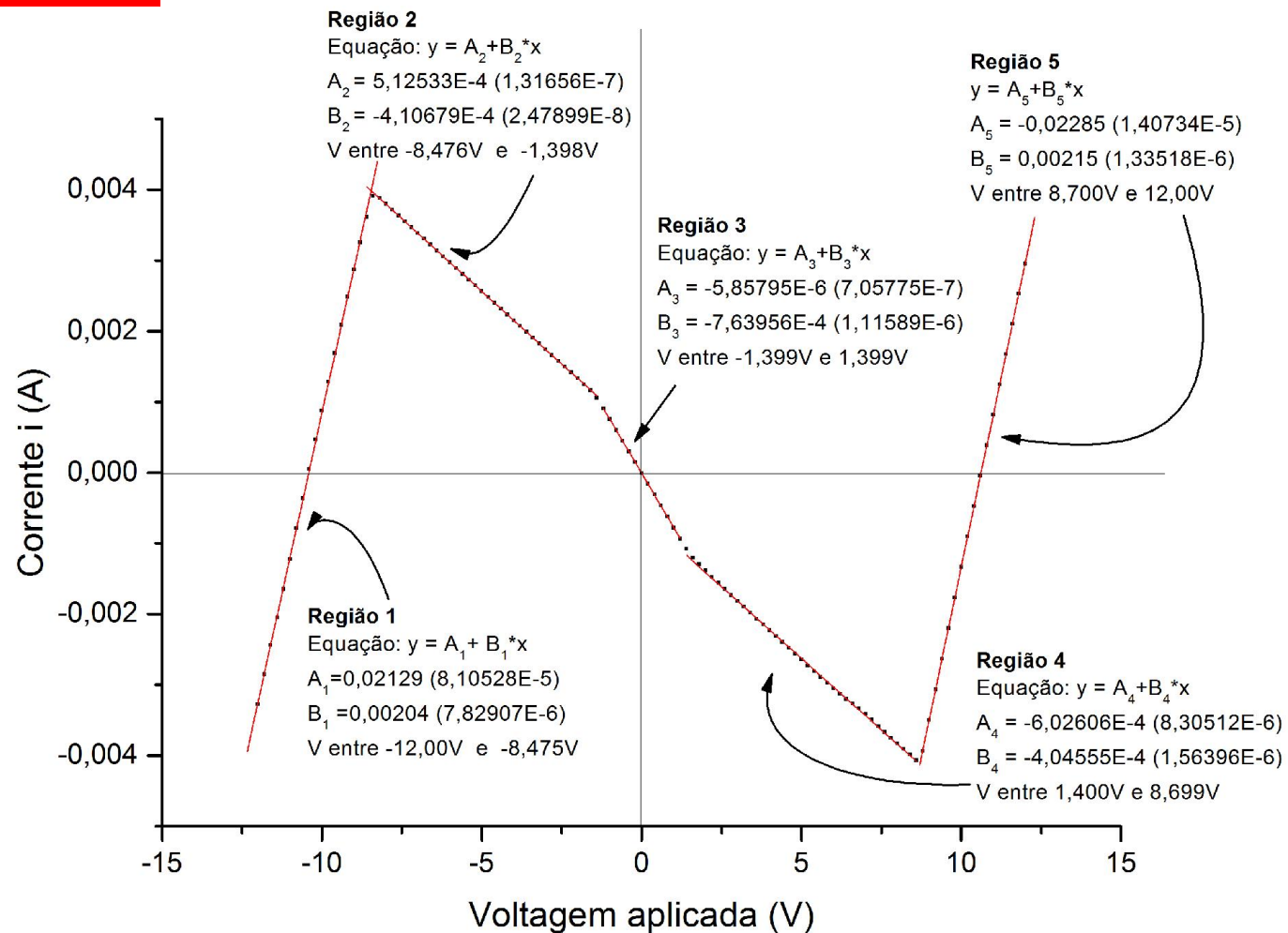


Intervalo dos parâmetros a serem variados e passo.

Alguns resultados preliminares

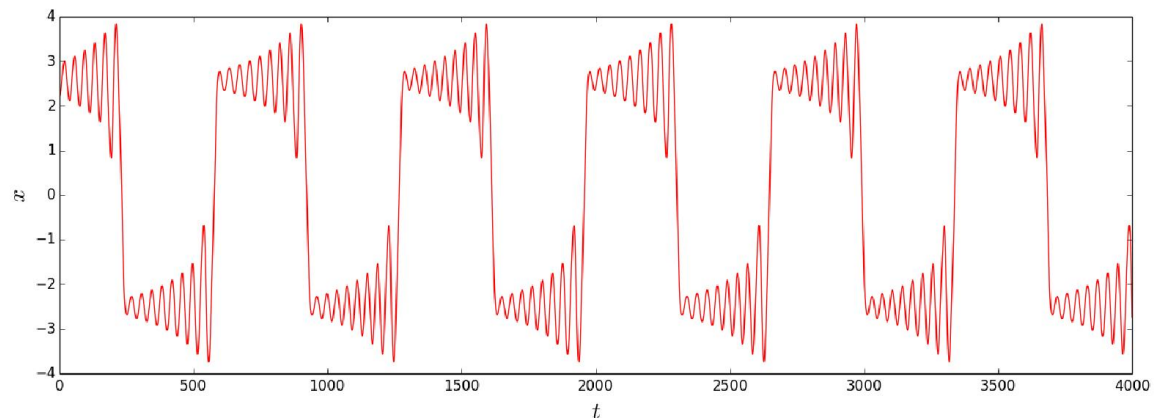
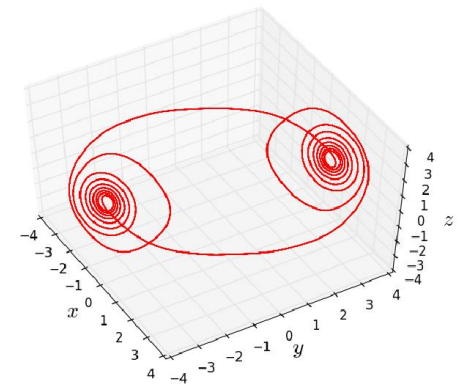
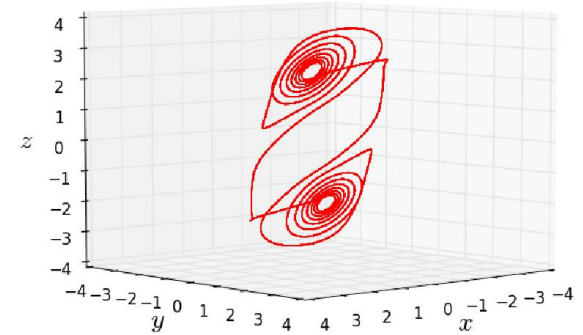
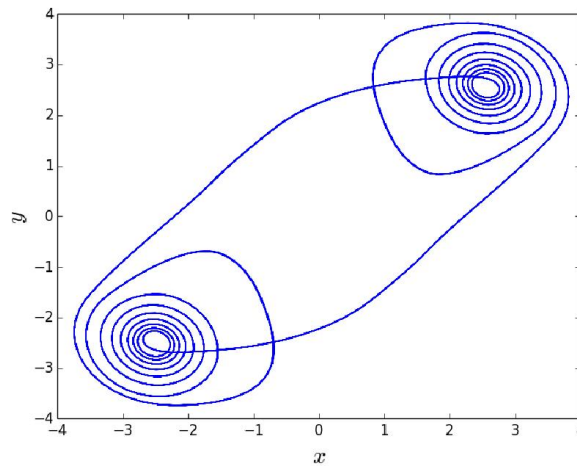
A curva $i_d(x)$ do Diodo de Chua medida.

A curva apresenta 5 regiões sendo 3 delas, regiões diferenciais negativa (pontos de operação do circuito) e 2 regiões Ôhmicas (regiões de saturação).



Atratores reconstruídos.

Apesar de ter sido medida apenas a variável de estado x , reconstruímos o atrator em 2D e 3D utilizando o método das coordenadas defasadas proposto por Takens(1981). Neste slide apresentamos a serie temporal medida e os atratores reconstruídos para os parâmetros $r_L = 241\Omega$ e $R = 1533\Omega$.



Sequência de atratores reconstruídos em 2D fixando $r_L = 241\Omega$ variando o parâmetro R .

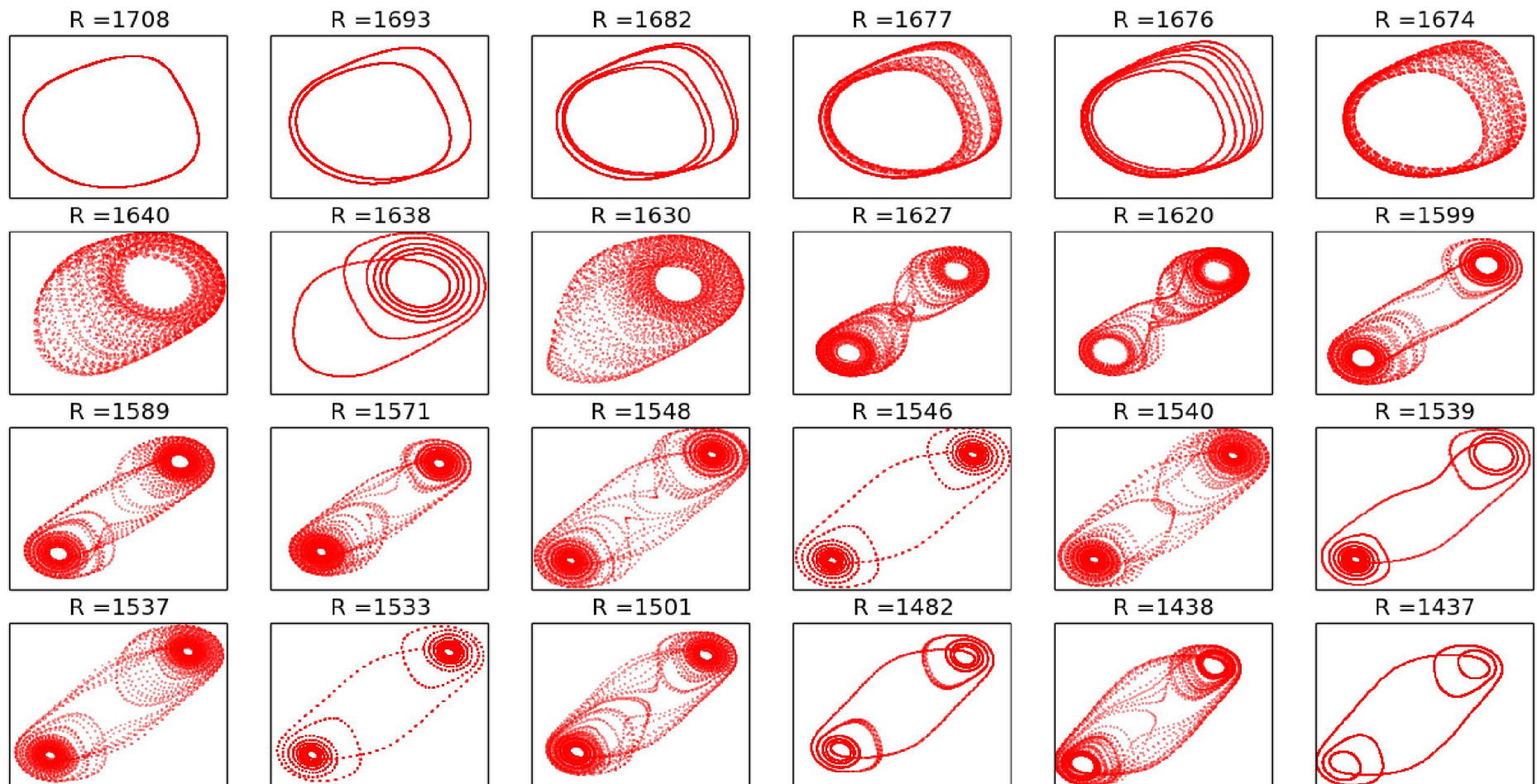
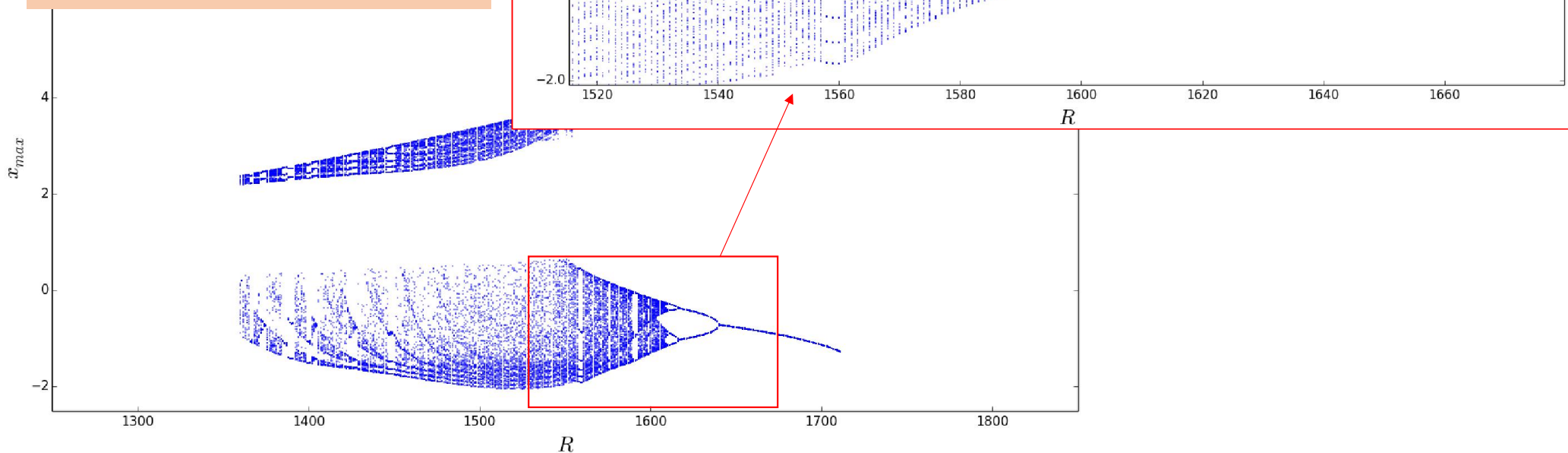


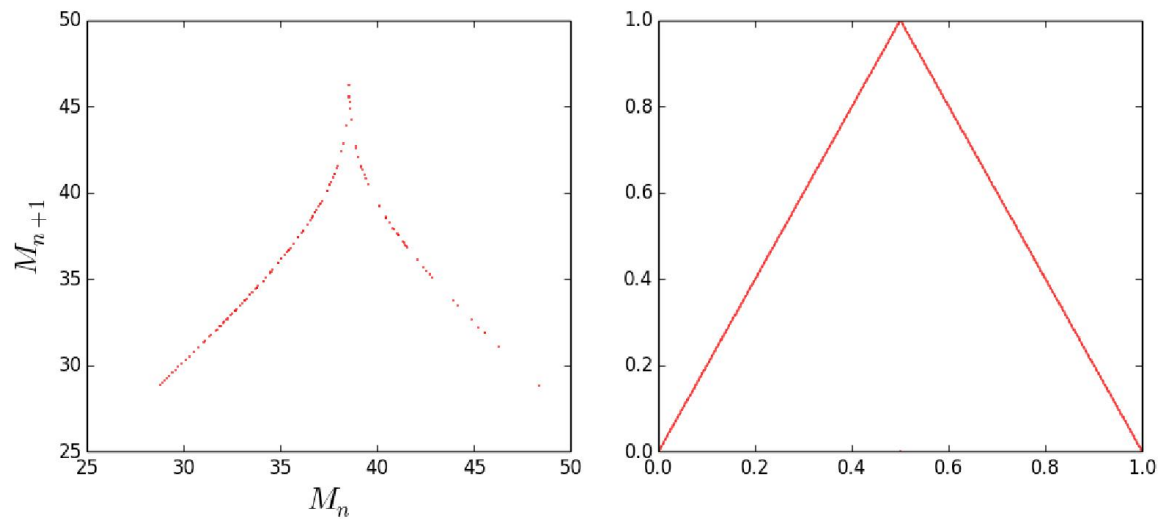
Diagrama de Bifurcação.

Dada a possibilidade de variação dos parâmetros r_L e R . Foi possível reproduzir diagramas de bifurcação a fim de evidenciar rotas para o caos, como a duplicação de período mostrada na figura, para o parâmetro $r_L = 300\Omega$.

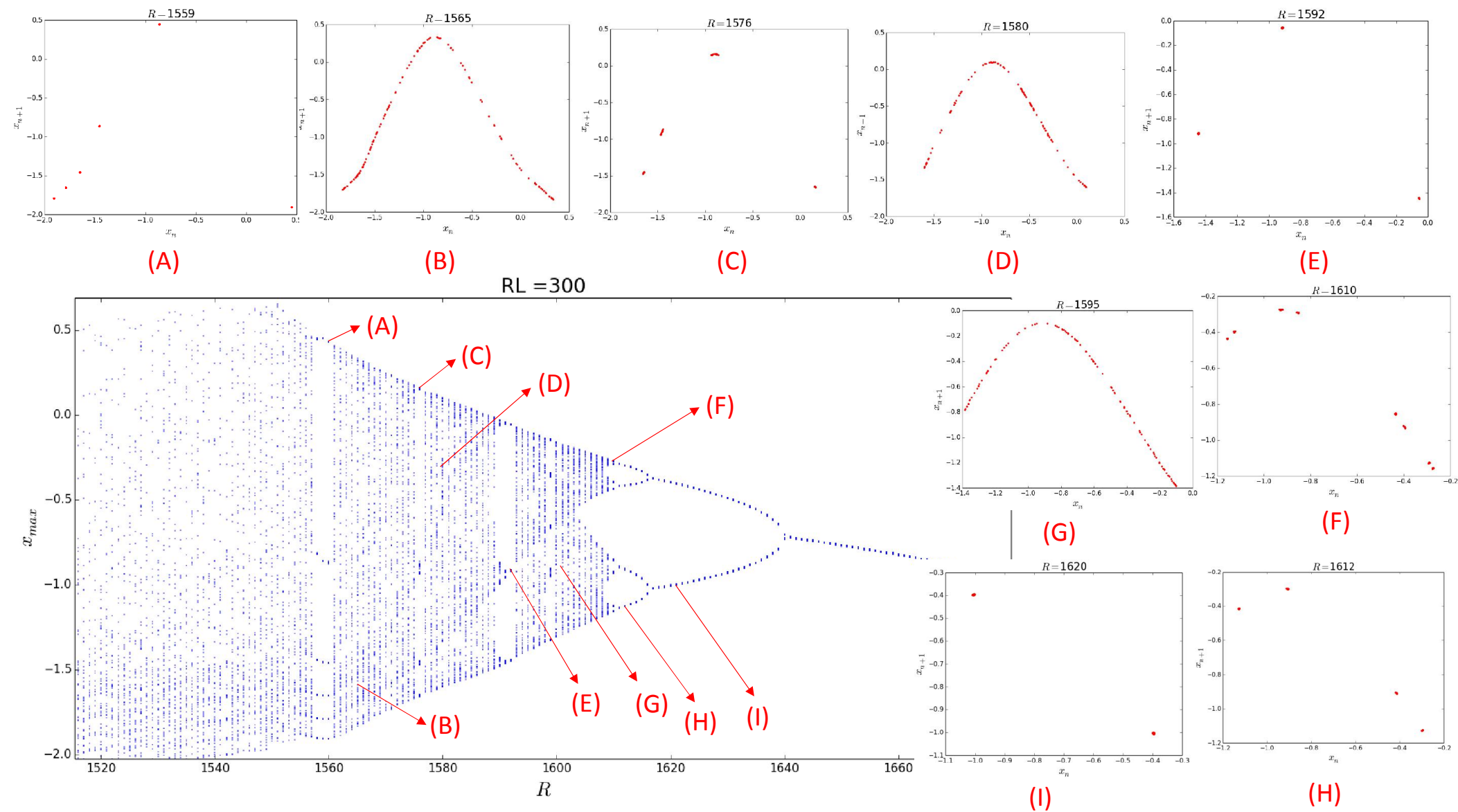


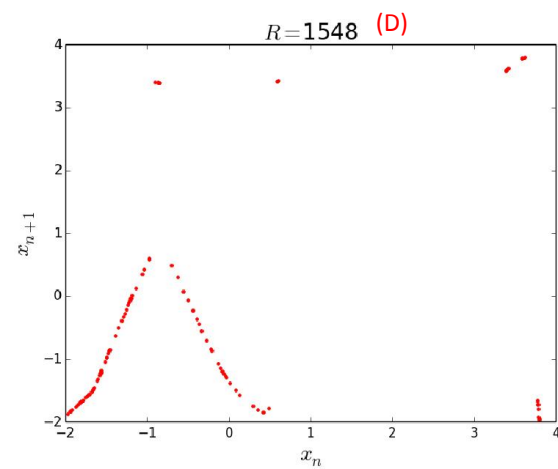
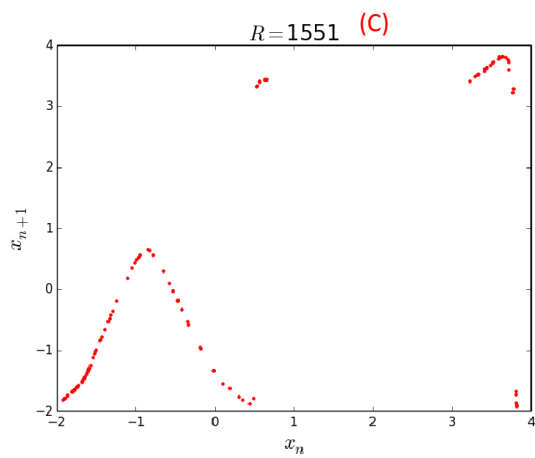
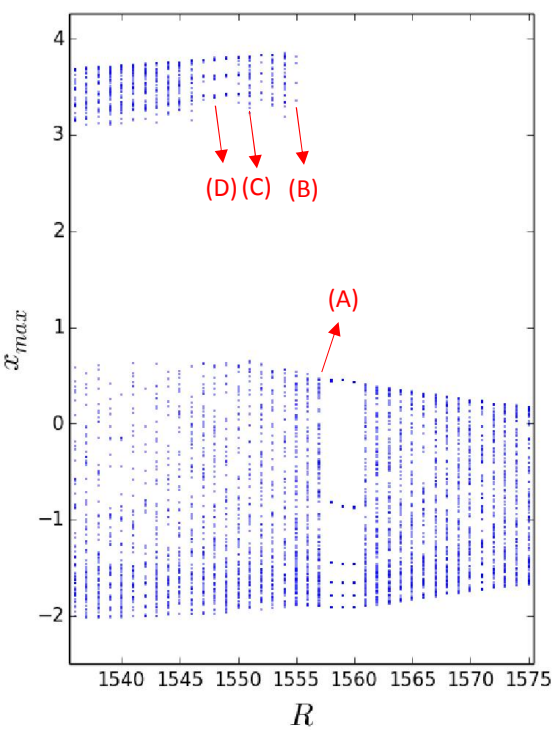
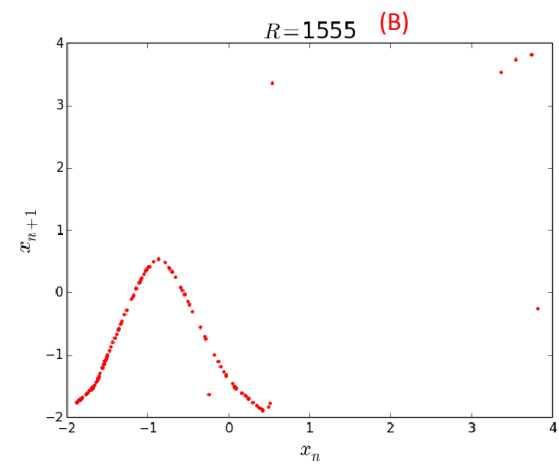
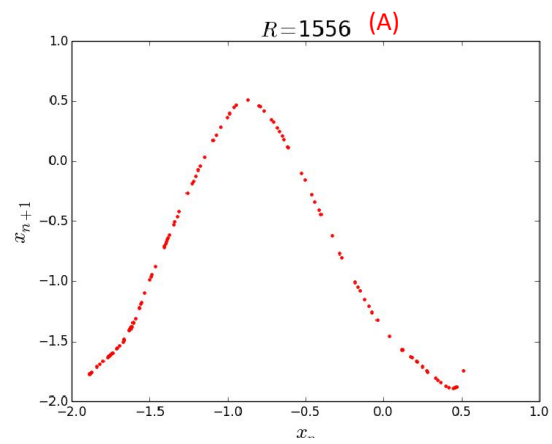
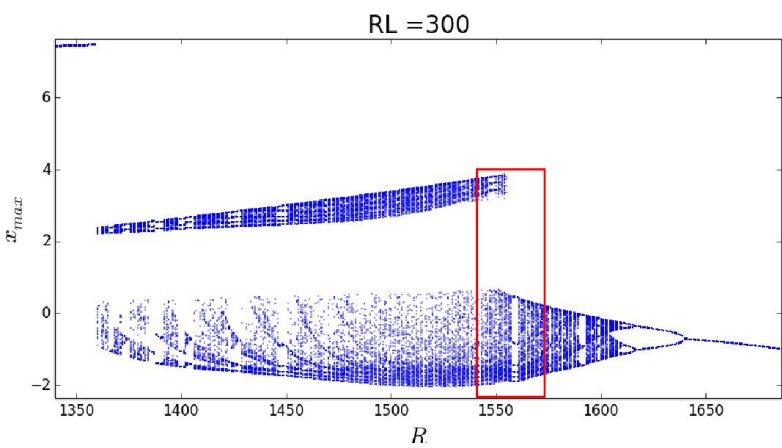
Tentativa de obtenção de um mapa para o sistema.

A exemplo do sistema de Lorentz que apresenta semelhança com o mapa da tenda. Tentou-se obter um mapa para o circuito de Chua, nos dois slides a seguir é mostrado o diagrama de bifurcação para o parâmetro $r_L = 300\Omega$ e o plot da variável $x_{máximo} = x_n$ e função do $x_{máximo}$ deslocado igual a x_{n+1} .



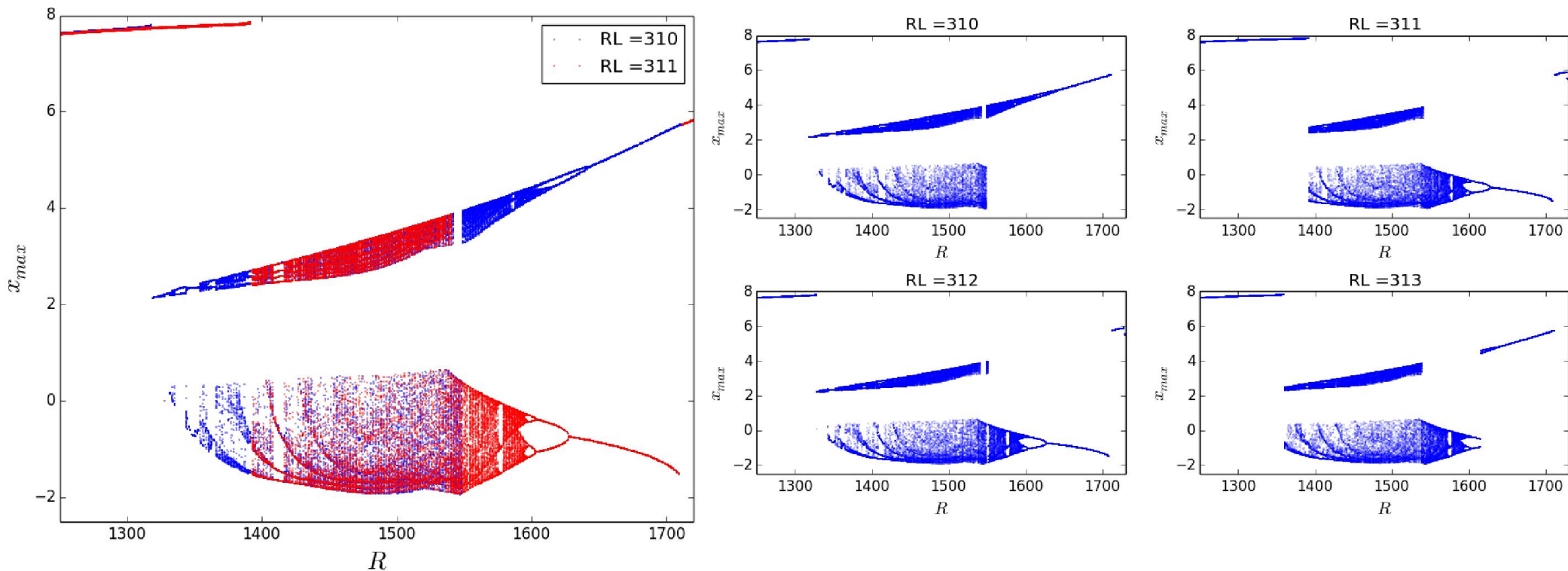
Comparação do sistema de Lorentz com o mapa da tenda



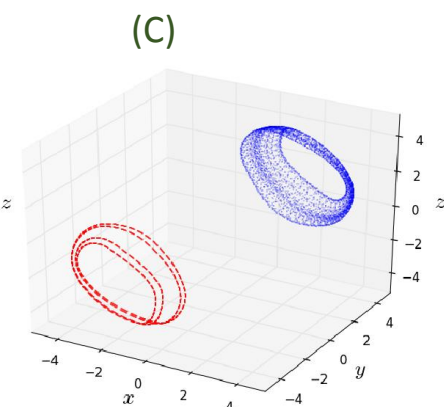
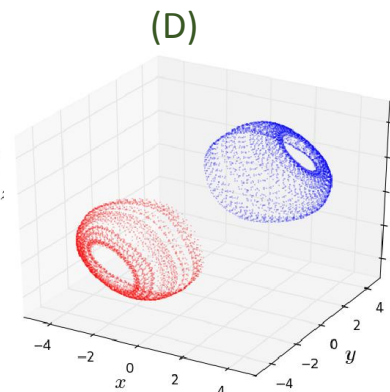
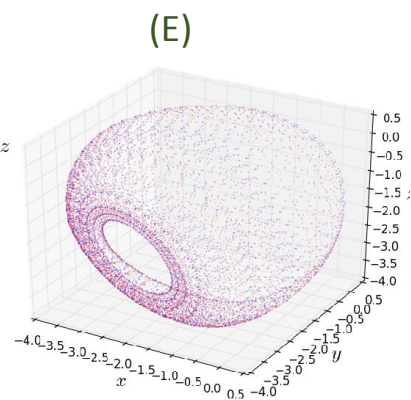
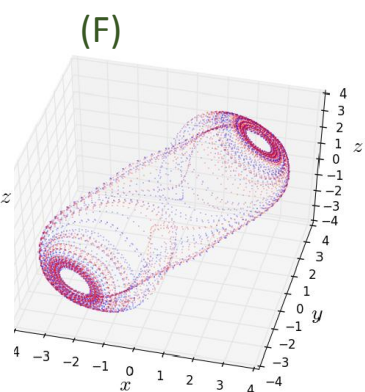
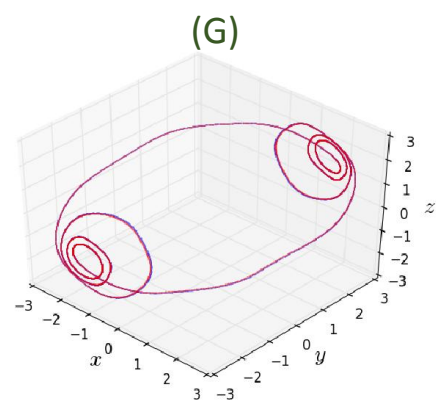
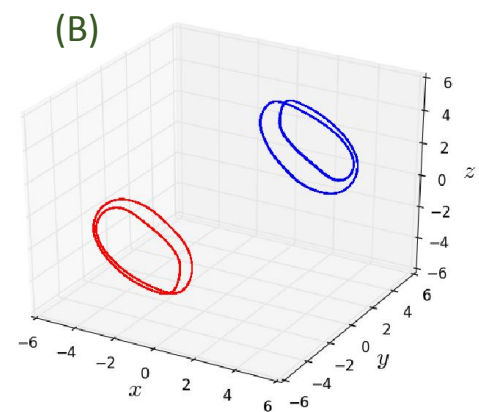
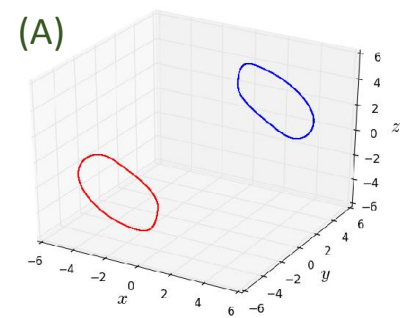
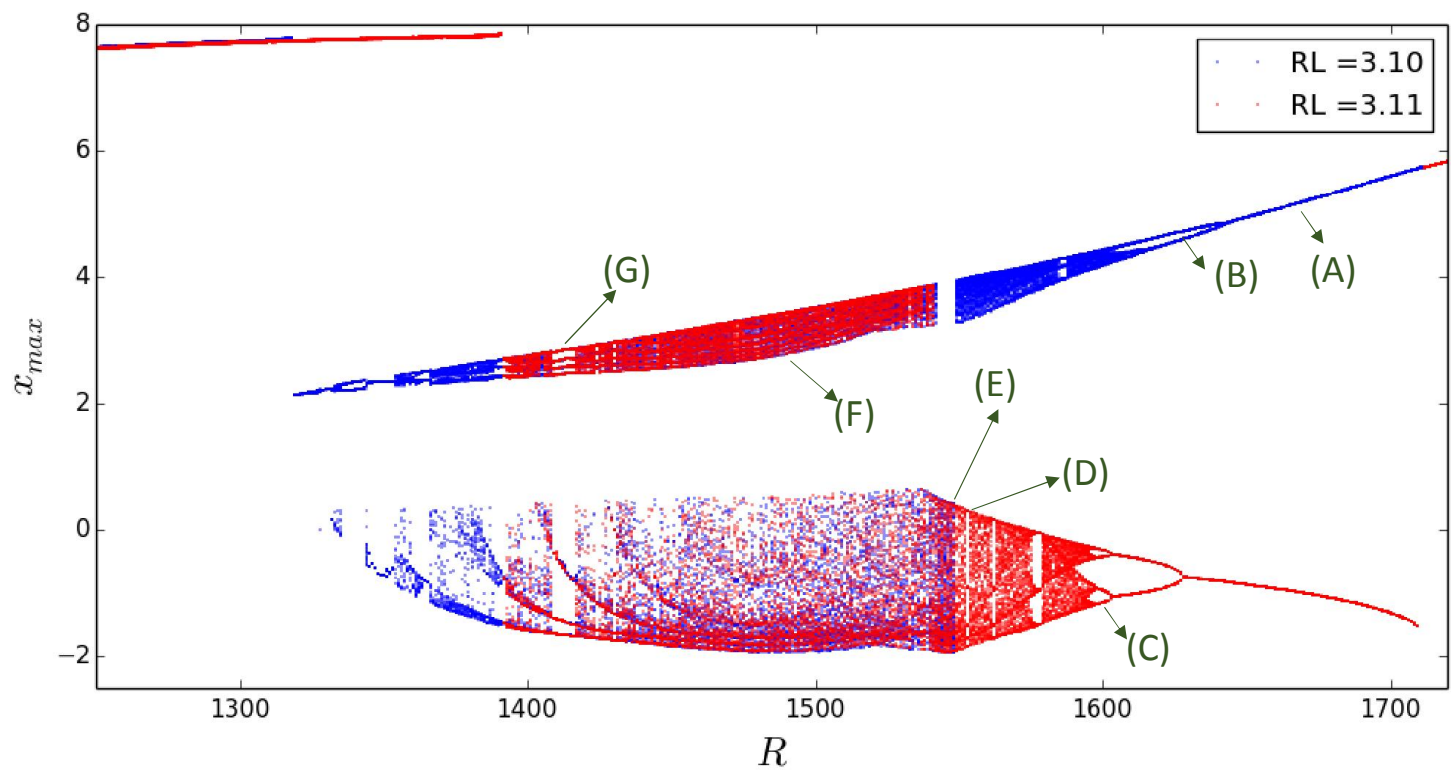


Coexistência.

Para uma pequena variação no parâmetro r_L é possível verificar mudanças no diagrama de bifurcação, mas que preservam a rota de duplicação de período. A variação entre as duas regiões do diagrama de bifurcação são consequência da condição inicial uma vez que o gráfico foi obtido seguindo o atrator.

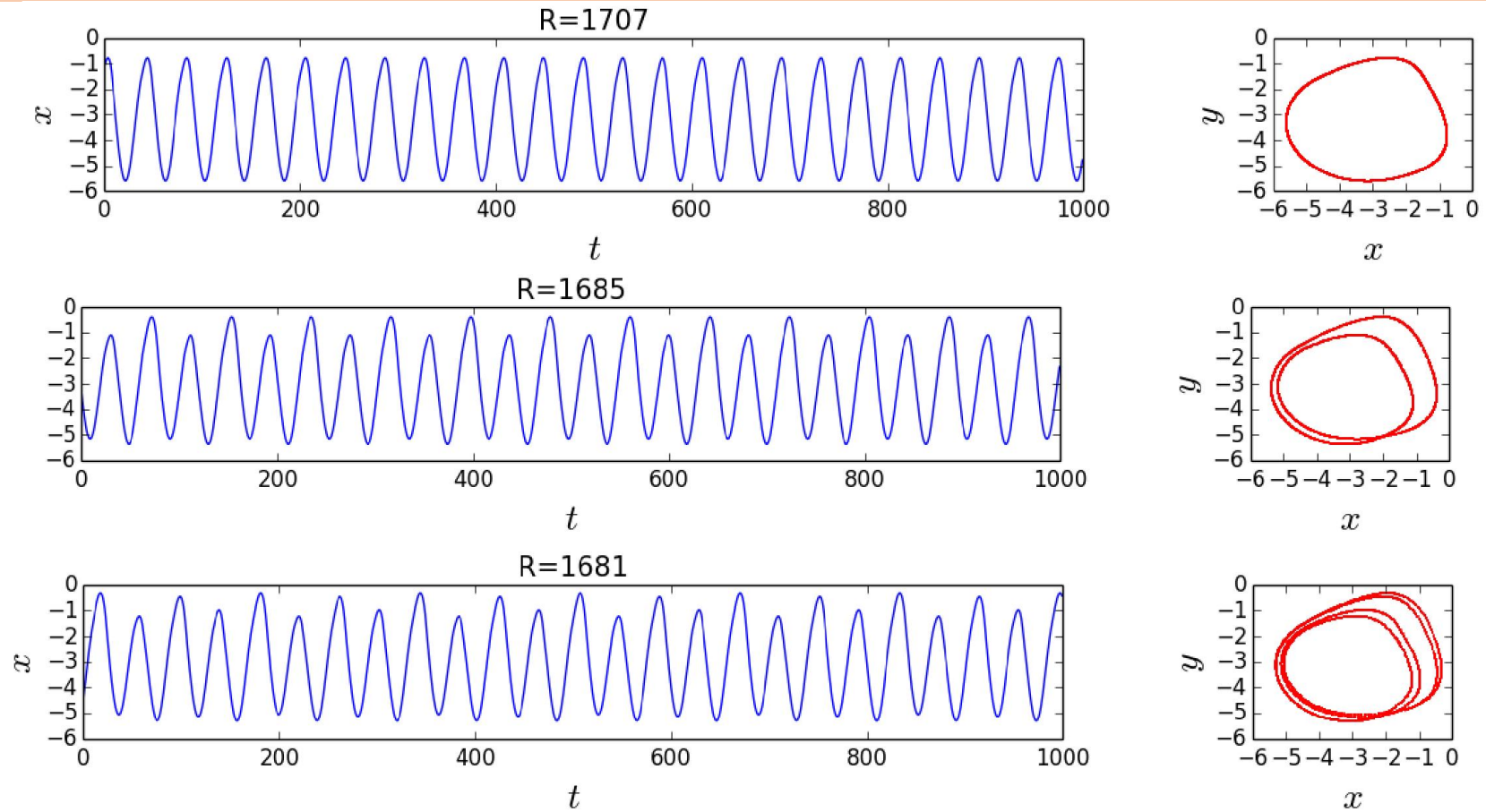


No slide a seguir é mostrado alguns atratores reconstruídos para o diagrama de bifurcação sobreposto.

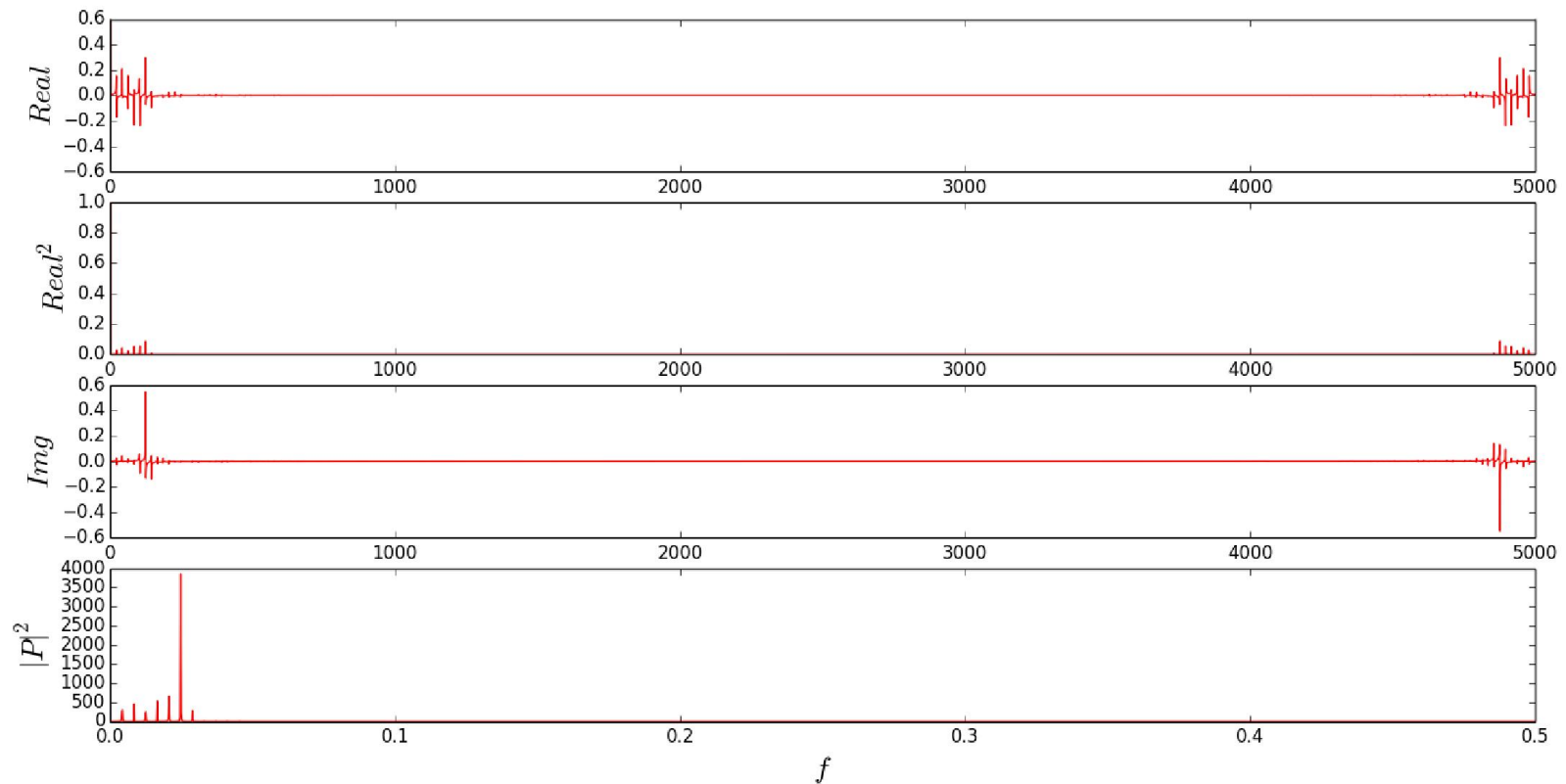
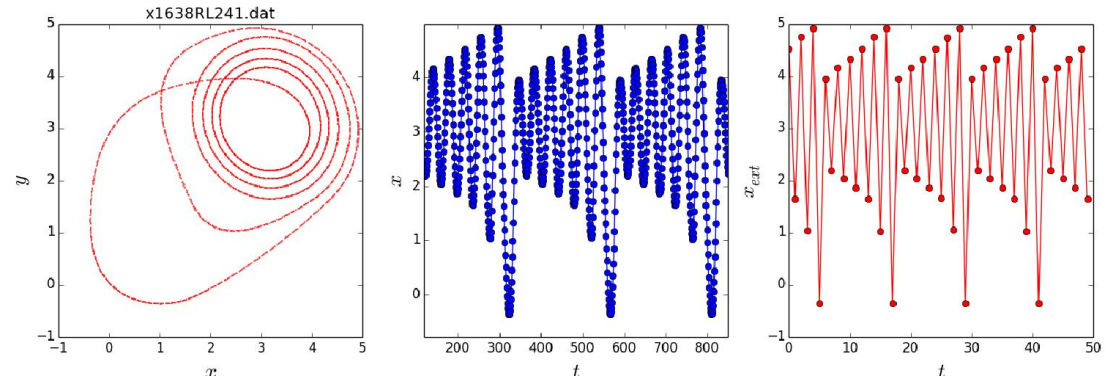
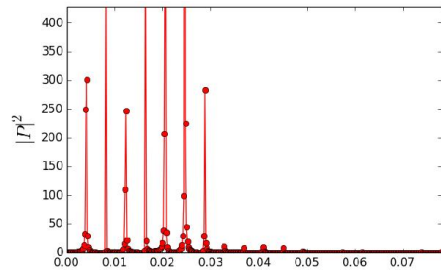


Análise da periodicidade.

Para caracterizar o sistema estamos tentando detectar a periodicidade e o comportamento caótico a partir das séries temporais medidas. Na figura a baixo é apresentada a serie temporal e o atrator reconstruído para $r_L = 241\Omega$.

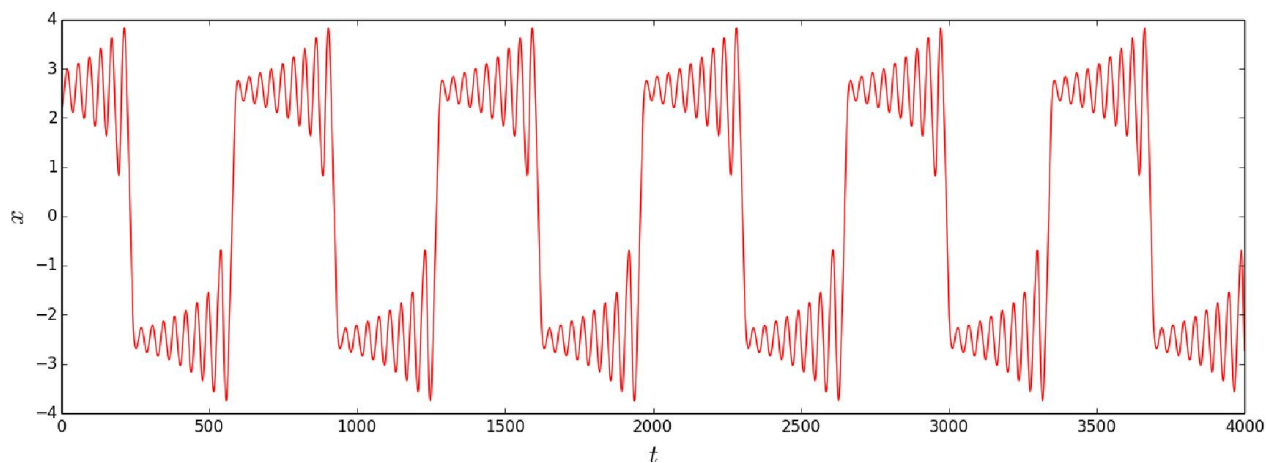
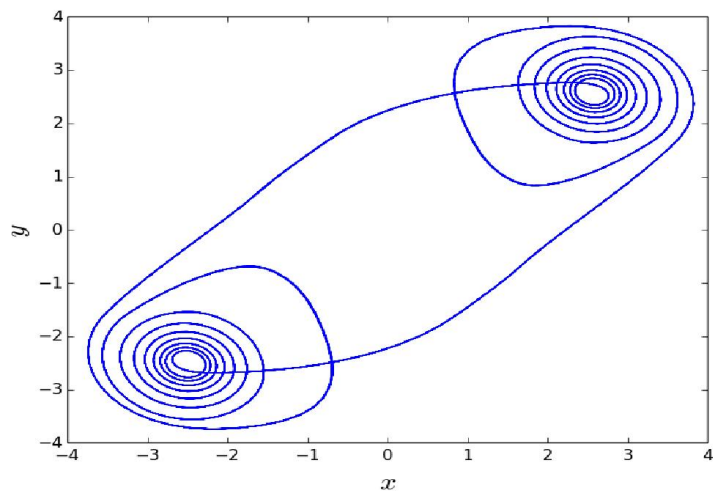
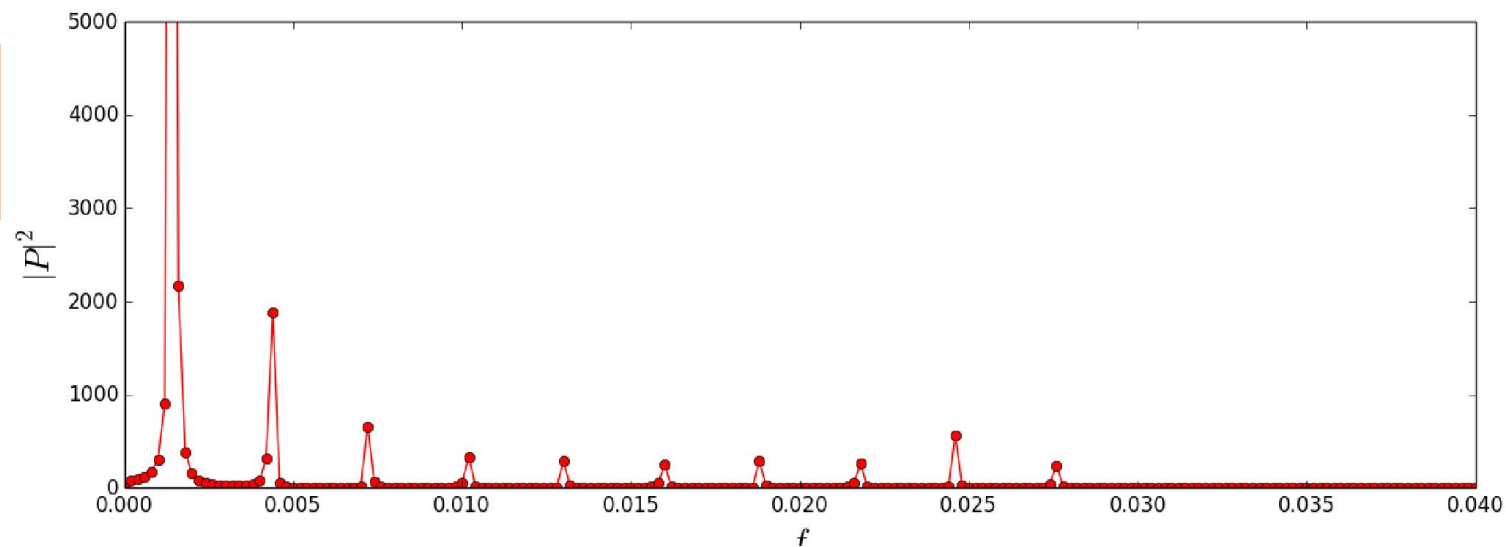
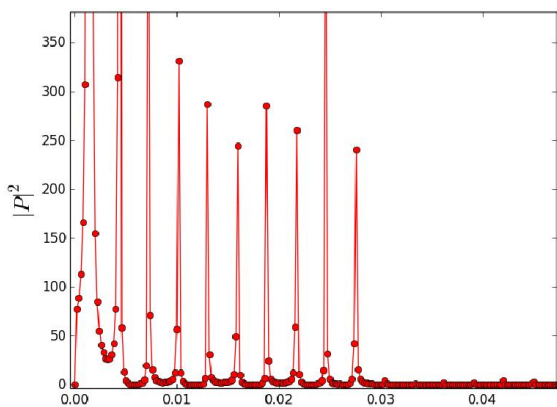


Tentativa de detecção da periodicidade via transformada de Fourier para $r_L = 241\Omega$ e $R = 16381\Omega$.

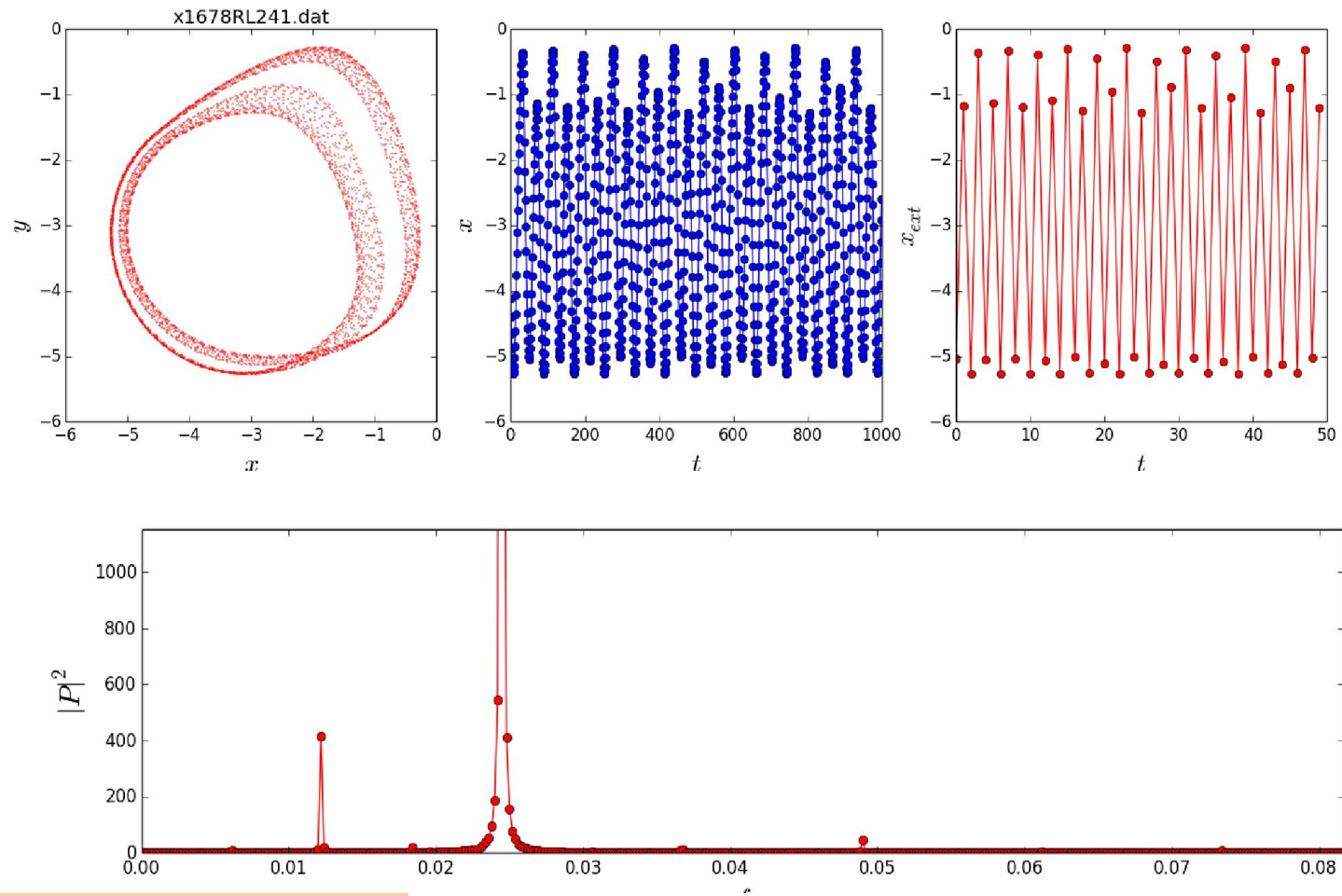
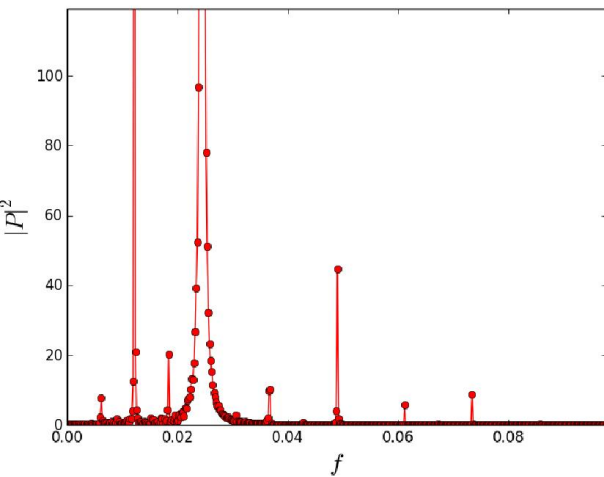


Nos 2 slides a seguir são mostradas algumas tentativas de detecção utilizando o espectro de potência da série.

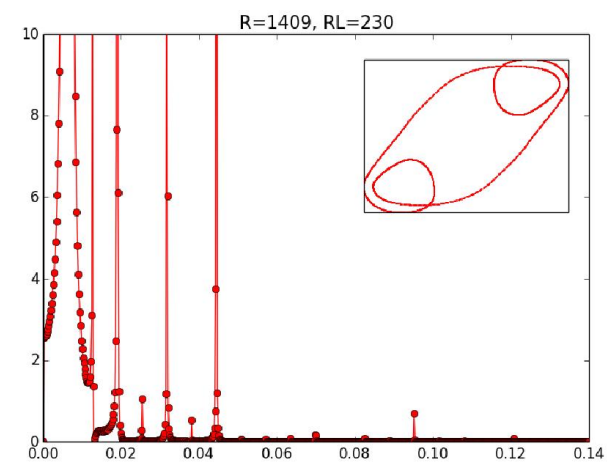
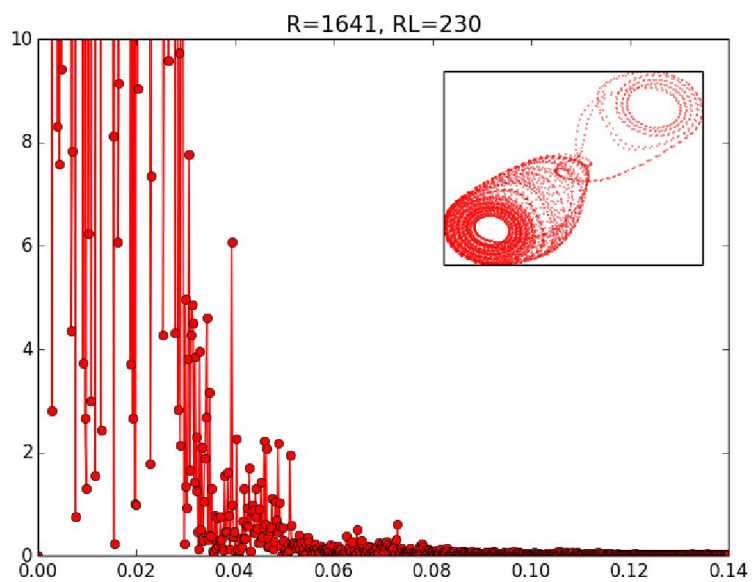
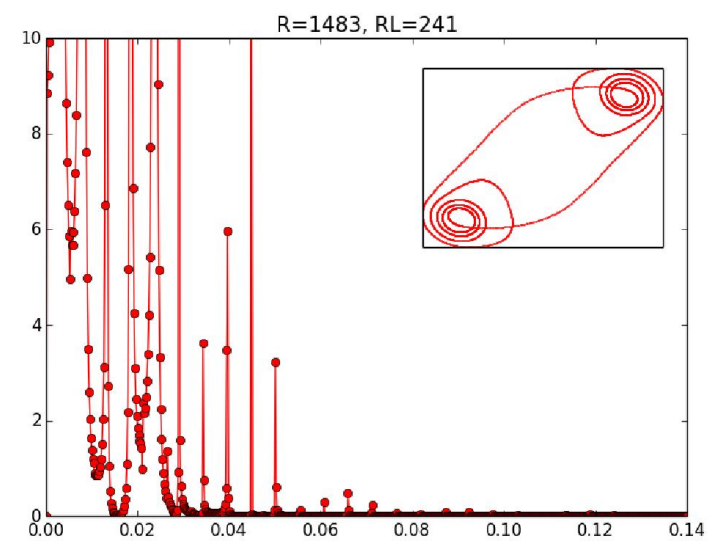
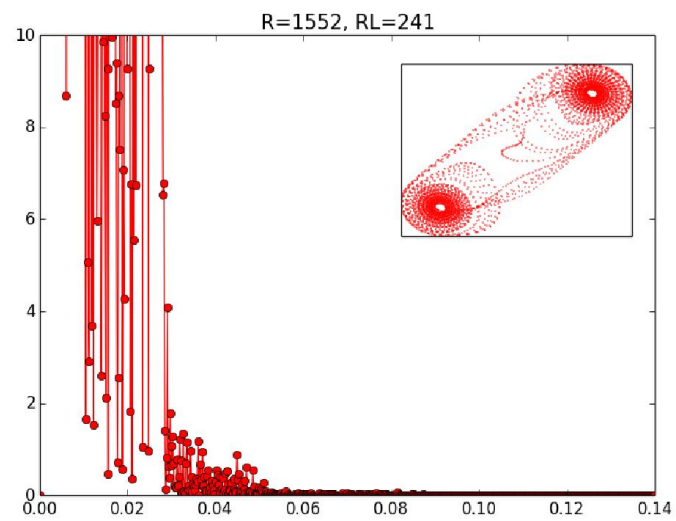
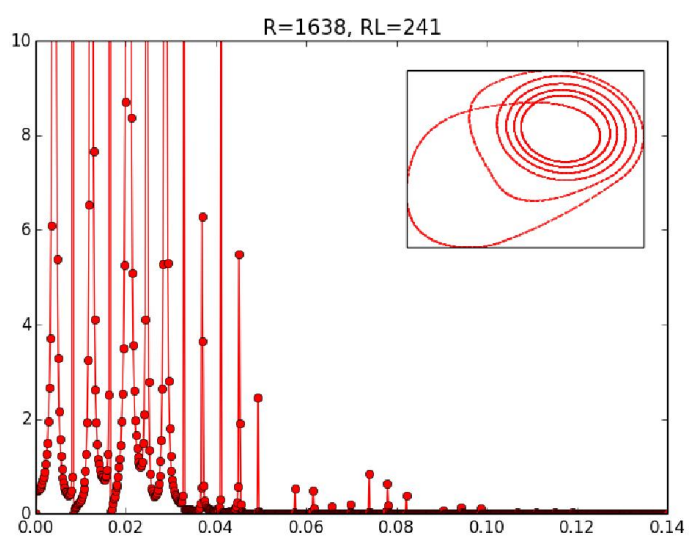
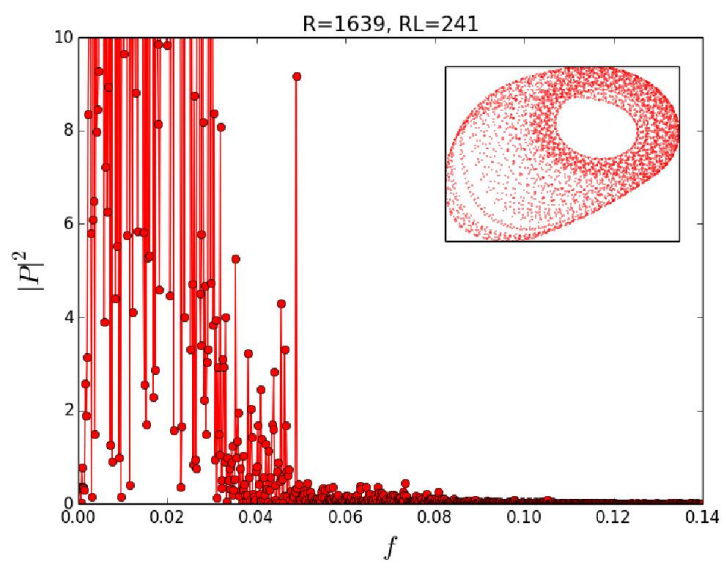
P ara $r_L = 241\Omega$ e $R = 1533\Omega$. Não foi possível encontrar o período 21.

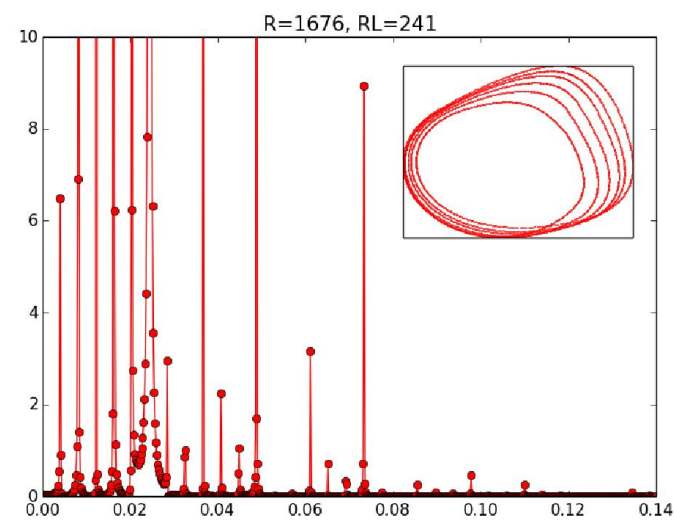
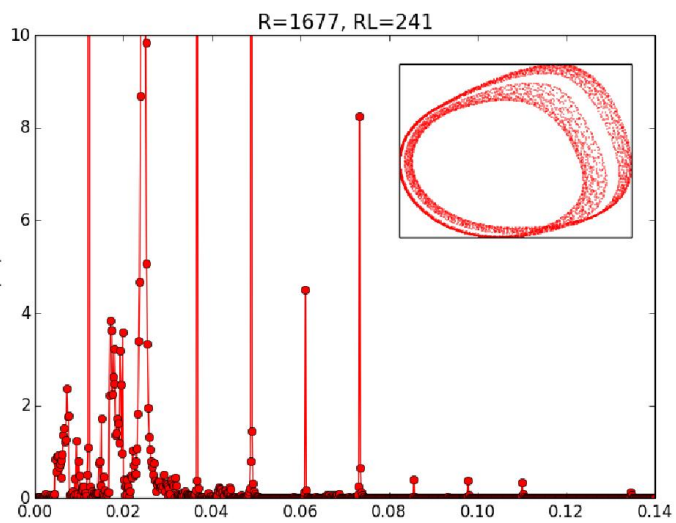
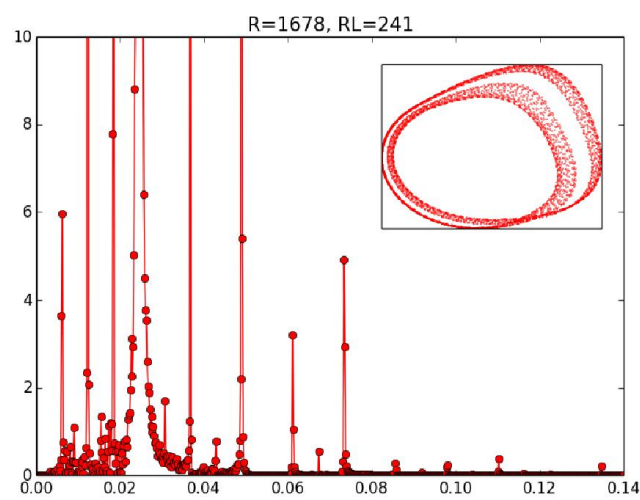
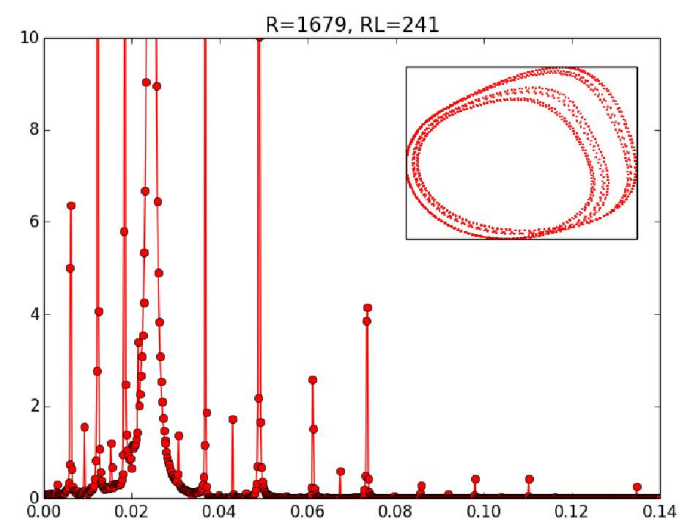
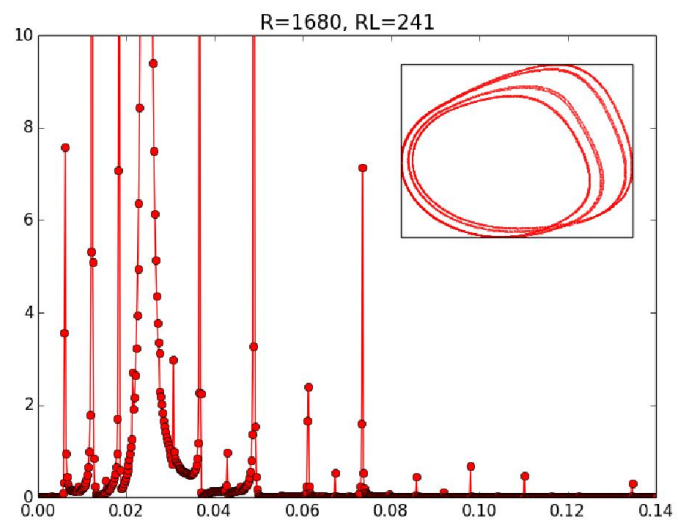
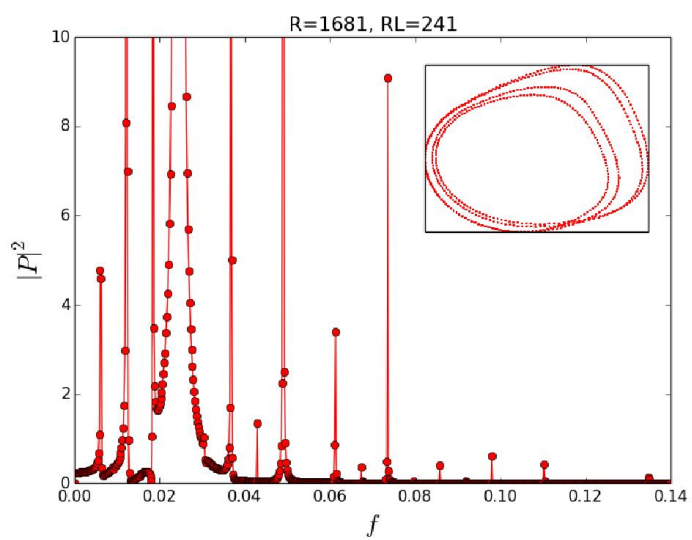


Para $r_L = 241\Omega$ e $R = 1678\Omega$. Temos uma estrutura aparentemente caótica mais que o espectro de potência identifica com periódica.



Nos 2 slide a seguir é mostrada o espectro de potência e o atrator reconstruído para alguns valores de r_L e R .





Conclusões e perspectivas futuras

- A montagem experimental do circuito de Chua permitiu a obtenção de series temporais com uma certa qualidade, passíveis de serem utilizadas na verificação de métodos análises.
- O espectro de potência apesar de não prever com exatidão a periodicidade, aparenta ser um bom critério para verificação de comportamento caótico.
- Pretende-se a partir da detecção da periodicidade da série construir espaço de parâmetros.