



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Exatas  
Departamento de Física  
Curitiba, Paraná

## **Memorial<sup>1</sup>**

**Prof. Dr. Sergio Roberto Lopes**

Curitiba, Abril de 2014

---

<sup>1</sup> Apresentado como exigência parcial do processo de promoção para a classe de Professor Titular da carreira do magistério superior.

## Sumário

1. Introdução
2. Formação profissional
  - 2.1 Resumo dos fatos marcantes da carreira profissional
3. Atividades docentes
  - Disciplinas ministradas para cursos de graduação
  - Disciplinas ministradas para cursos de pós-graduação
  - Dissertações orientadas
  - Teses orientadas
  - Supervisões de pós-doutoramentos
4. Atividades administrativas
5. Títulos concedidos
6. Linhas de pesquisas atuais
7. Produção científica
  - Artigos publicados em revistas internacionais
  - Livros publicados

## 1. Introdução

Nascido em 18 de Dezembro de 1967, na cidade de Cruzeiro do Oeste, noroeste do estado do Paraná, filho de Joana Sanches Lopes e Francisco Lopes Neto. Aos 09 anos minha mãe e meus irmãos mais velhos dão o passo que irá marcar definitivamente minha vida: tomam a decisão de mudar-se da localidade de Moreira Sales, pequena cidade do noroeste do estado do Paraná para Maringá, PR. A mudança busca melhores condições de vida e melhores possibilidades de escolarização para a família. Em Maringá cursei o ensino fundamental e médio. Em 1986 iniciei o curso de licenciatura em física na Universidade Estadual de Maringá, me formando em 1990. Em 1991 prestei os exames para ser admitido ao curso de mestrado em geofísica espacial no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, onde após 4,5 anos recebi meu diploma de Doutor em Ciência, com área de concentração, geo-astrofísica, com pesquisa realizada em física e plasmas. Após o término de meu curso de doutoramento, em 12 de setembro de 1995. Concorri a uma bolsa oferecida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq na modalidade de “Bolsa Recém Doutor”, para atuar no Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná, na cidade de Curitiba, PR. A bolsa foi concedida e em meados de novembro do ano de 1995 iniciei minha carreira profissional nesse Departamento.

Após aproximadamente um ano e meio na condição de bolsista, prestei concurso público para a carreira de professor do magistério superior, classe adjunto em 12 de maio de 1997, no mesmo departamento. Aprovado em concurso público fui contratado no dia 05 de julho de 1997, sendo aprovado no estágio probatório em 24 de fevereiro de 1999.

Desde então venho obtendo progressões horizontais e verticais na carreira do magistério superior, obtidas por avaliação de acordo com as resoluções vigentes.

- Progressão para o nível II da classe de professor adjunto: 04/06/1999;
- Progressão para o nível III da classe de professor adjunto: 04/06/2001;
- Progressão para o nível IV da classe de professor adjunto: 04/06/2003;
- Progressão para o nível I da classe de professor associado: 01/05/2006;
- Progressão para o nível II da classe de professor associado: 01/05/2008;
- Progressão para o nível III da classe de professor associado: 01/05/2010;
- Progressão para o nível IV da classe de professor associado: 01/05/2012;

## 2. Formação profissional

Minha formação básica é de Licenciado em Física, pela **Universidade Estadual de Maringá**, tendo obtido o **título de licenciado em física no dia 11 de agosto de 1990**.

Após o curso de licenciatura prestei concurso público para ingresso no programa de mestrado em ciência espacial no **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**, no qual fui aprovado, iniciando o curso em fevereiro de 1991. Após solicitação de progressão ao programa e doutoramento sem término do curso de mestrado, fui admitido no programa de doutoramento no mesmo instituto em janeiro de 1992. Em 1993/1994 realizei estágio de doutoramento no exterior (doutorado sanduíche) na Universidade de Cambridge, Inglaterra, no Departamento de Matemática Aplicada e Física Teórica DAMTP. Retornando ao Brasil terminei **o curso de doutoramento em Ciência Espacial em 12 de setembro de 1995 com defesa de tese em sessão pública**.

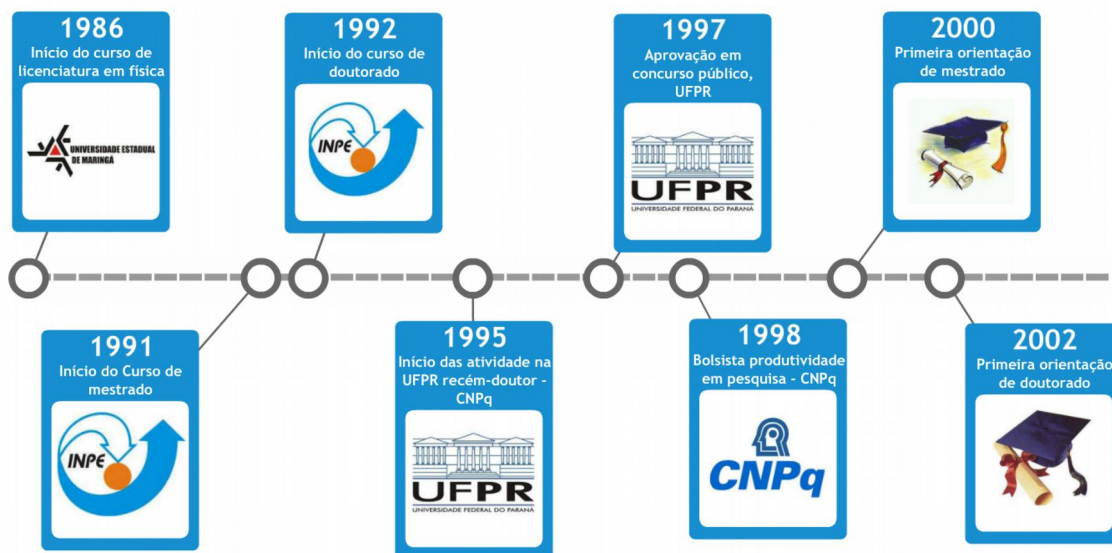
Desde Novembro de 1995, trabalho como professor/pesquisador no Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná, na condição inicial de bolsista CNPq e 1,5 anos depois do ingresso na condição de professor do magistério superior.

Em Março de 2000 iniciei a orientação de meu primeiro aluno de mestrado, José Carlos Pereira Coninck, hoje professor na Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Curitiba, tendo sido finalizada com defesa de dissertação em fevereiro de 2002.

O mesmo José Carlos foi meu primeiro aluno de doutorado, tendo finalizado seus trabalhos de doutorado em fevereiro de 2006 com apresentação de tese.

Após essas primeira orientações outras se seguiram, em níveis de doutorado, mestrado e iniciação científica, fazendo desses 17 anos de carreira, um aprendizado de convivência e de respeito às pequenas grandes diferenças entre pessoas e de paciência por nem sempre obter os resultados na hora certa, e da forma certa.

### 2.1 Resumo dos fatos marcantes da carreira profissional



### **3. Atividades docentes**

Desde o ano de 1996, ainda na categoria de bolsista recém doutor, tenho atuado como professor do magistério superior no Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná, ministrando cargas horárias semanais de 08 a 12 horas. No mesmo ano fui admitido no quadro de professores do Curso de Pós Graduação em Física da Universidade Federal do Paraná, tendo desde então ministrado disciplinas e orientado alunos nos níveis de mestrado e doutorado.

#### **3.1 Disciplinas ministradas para cursos de graduação**

Física Geral B; Física Geral II; Física de Plasmas; Introdução a Dinâmica Não Linear; Eletromagnetismo; Eletromagnetismo I; Mecânica Clássica I; Mecânica Geral B; História da Física. Física E, Física F.

#### **3.2 Disciplinas ministradas para cursos de pós-graduação**

CF706 - Tópicos Especiais de Física Teórica com os seguintes subtítulos:

- Dinâmica não linear de sistemas;
- Dinâmica não linear de sistemas com muitos graus de liberdade;
- Sincronização de oscilações não lineares;
- Dinâmica não linear de sistemas conservativos;
- Métodos numéricos aplicados à física;
- Dinâmica de osciladores acoplados;
- Recorrência em sistemas dinâmicos.

CF737 Tópicos especiais de física teórica II, espaços de fase não hiperbólicos e suas relações com transporte anômalo;

CF711 - Física de Plasmas:

#### **3.3 Dissertações de mestrado orientadas**

Fui orientador dos seguintes alunos de mestrado:

1. José Carlos Pereira Coninck - A dinâmica não-linear do modelo de quatro ondas. 2002. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.;

2. Ângela Maria dos Santos - Sincronização entre dois osciladores de van der Pol acoplados. 2002. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.;

3. José Danilo Szezech Jr - Dinâmica Não Linear do Modelo da Interação de Quatro Ondas Conservativas. 2004. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.;

4. Everton Granemann Souza. Caracterização de sistemas dinâmicos através de gráficos de recorrência. 2008. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

5. Paulo Paneque Galuzio. Início intermitente da turbulência. 2012. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

6. Thiago de Lima Prado. Análise de imagens por recorrências. 2012. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

7. Andressa Antonini Bertolazzo. O efeito de espaços de fase não homogêneos em coeficientes de difusão e transporte. 2010. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

### **3.4 Teses de doutorado orientadas**

1. José Danilo Szezech Júnior. Transição do regime de caos para caos espaço-temporal em modelos de interação de ondas. 2008. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

2. José Carlos Pereira Coninck. Multiestabilidade, subespaços invariantes e bacias de atração no modelo de interação de quatro ondas. 2006. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

### **3.5 Teses de doutorado em andamento**

1. Paulo Paneque Galúzio. Início de turbulência e sua relação com perda de estabilidade de variedades (provisório). Início: 2012. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

2. Thiago de Lima Prado. Análise do comportamento de de redes neurais (provisório). Início: 2012. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

3. Taline Suellen Kruger. Transporte anômalo, difusão e transporte em sistemas quasi-conservativos (provisório). Início: 2012. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Paraná, Bolsa Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

### **3.5 Supervisões de Pós-doutoramento**

1. Alexandre Bonatto. Início: 2013. Universidade Federal do Paraná, Bolsista PDJ do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Concluído em 02/2014.

2. Carlos Adalberto S. Batista. Início: 2012. Universidade Federal do Paraná, Bolsista PNPD da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Concluído 07/2014.

#### 4. Atividades administrativas

Durante os anos com professor da carreira do magistério superior, ocupei as seguintes principais posições administrativas:

- **Vice coordenador do Curso de Pós graduação em Física**, de 11 de novembro de 2010 a 15 de junho de 2011.
- **Vice coordenador do Curso de Pós graduação em Física**, de 06 de julho de 2011 a 05 de julho de 2013.
- **Membro do comitê setorial de pesquisa** – Setor de ciências exatas
- **Membro do comitê assessor de pesquisa** – Setor de ciências exatas
- **Coordenador de subárea** (Modelagem e computação científica) junto aos projetos institucionais da UFPR em **Chamadas Públicas Anuais do MCT/FINEP/CT-INFRA – PROINFRA**. Desde 02/2010 até a data presente.

Além de inúmeras outras participação em **colegiados de graduação/pós-graduação**, **banca de concurso público**, **seleção para ingresso de de mestrandos/doutorandos** e participação em **comissões de exames probatórios** e comissões em geral instituídas pelo Departamento de Física e Setor de Ciências Exatas.

## 5. Títulos Concedidos

Após a contratação como professor do magistério superior, concorri e obtive bolsa de Pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

1998 Bolsista Pesquisador nível 2C  
2000 Bolsista Pesquisador nível 2B  
2003 Bolsista Pesquisador nível 2  
2006 Bolsista Pesquisador nível 1D  
2009 Bolsista Pesquisador nível 1D  
2013 Bolsista Pesquisador nível 1C

## 6. Linhas de pesquisas atuais

### 6.1 Introdução

As linhas de pesquisas atuais nas quais participo são as seguintes:

- **Onset de turbulência e turbulência intermitente**

Nessa linha são estudados sistemas físicos que apresentam transição intermitente para estados turbulentos, via perda de instabilidade de variedades inerciais ou do ponto de vista de dinâmica não linear, variedades invariantes;

- **análise do transporte anômalo em sistemas conservativos ou fracamente dissipativos;**

Nessa linha de pesquisa, são tratados espaços de fase com comportamentos não triviais, caracterizados pela presença de regiões caóticas e regulares. A fronteira entre tais regiões é, muitas vezes, complexa, apresentando regiões de bloqueio de transporte ou “grudes”, o que interfere nas propriedades das trajetórias da região caótica, fazendo com que o sistema em geral apresente propriedades de sistemas fora do equilíbrio. Em particular na pesquisa em física de plasmas, turbulência e o transporte conectado a essa são fatores limitantes importantes no confinamento magnético do plasma. O bom entendimento de suas propriedades, bem como o controle desses eventos é um tema importante da pesquisa na área e permanece ativo desde a década de 1990.

- **Análise de imagens e séries temporais e imagens por meio de recorrências no espaço de fase**

Nessa linha faz-se uso de técnicas da análise de recorrências para transformar uma imagem ou série temporal do espaço real para o espaço de recorrência. Tal técnica permite o desenvolvimento de possíveis aplicações no campo de diagnósticos por imagens.

- **Redes neurais**

Finalmente na quarta linha de pesquisa, estudamos fenômenos da dinâmica não linear aplicada a redes neurais. Nessa linha simula-se o comportamento de redes neurais a partir de redes de osciladores acoplados. No momento utilizamos como modelo de neurônios os osciladores de Hodgkin Huxley, e suas variações.

### 6.2 Onset de turbulência e turbulência intermitente

É comum usarmos a palavra turbulência para representarmos aquilo que não é regular. De fato, a observação de estados turbulentos é muito comum no cotidiano das pessoas, porém está distante de ser bem entendida formalmente [1-6]. Tais estados, de uma forma geral, aparecem em sistemas físicos sujeitos a grandes gradientes de forças (ou campos), o que impõe, por exemplo em um fluido, variações abruptas de velocidade ou direção de movimento. Um outro mecanismo gerador de estados turbulentos está relacionado às variações temporais súbitas destes campos. Tais condições levam o sistema a apresentar variações irregulares, muitas vezes descritas como estocásticas, nas coordenadas temporal e espaciais.

Outra observação comum no estudo de fluxos turbulentos é o surgimento de estados intermitentes, onde emissões irregulares com características difusivas e de banda larga em frequências e vetores de onda, com médias e outros momentos estatísticos bem determinados, são observadas superpostas por emissões impulsivas de grandes amplitudes, porém, de surgimento irregular, sendo impossível o conjunto das emissões ser caracterizado como um sistema em equilíbrio. De fato, desde suas primeiras observações [2] uma das características fundamentais dessas emissões é o desvio de suas distribuições de probabilidade do resultado gaussiano clássico. Sob a influência dos grandes pulsos intermitentes a função de distribuição

das emissões apresenta uma sensível alteração, aumentando a probabilidade de se obter eventos raros, isso causa uma cauda na distribuição de probabilidades, conhecido como cauda gorda. Entretanto um entendimento completo do mecanismo dessas emissões está longe de ser bem entendida [7-10]. A literatura apresenta somente descrições estatísticas e modelos baseados em processos randômicos, não apresentando descrições baseadas em fenômenos determinísticos [10-14]. Nesse projeto propomos um caminho de pesquisa e definimos dois modelos para descrever essas emissões.

Como primeiro exemplo e de forma a deixar claro o mecanismo dos impulsos usamos um modelo de baixa dimensão dado pelo seguinte mapa [15]

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= (1 - \epsilon_1)rx_n(1 - x_n) + \epsilon_1\zeta_1, \\ \phi_{n+1} &= \frac{1}{2\pi}px_n \sin(2\pi\phi_n) + \epsilon_2\zeta_2.\end{aligned}$$

Aqui  $x$  apresenta a dinâmica parcialmente caótica e parcialmente estocástica (para  $\epsilon_{1,2}$  diferentes de zero) e funciona como um indutor na dinâmica da variável  $\phi$ . O esquema de acoplamento é mestre-escravo. Para  $p$  da ordem de  $p_c = 1,725$  a variedade invariante  $\phi = 0$  (para  $\epsilon_1 = 0$ ) perde estabilidade devido a uma bifurcação e o regime de intermitência on-off se inicializa. [13]. Aqui fixamos os parâmetros  $p = 1,73$  e  $r = 3,8$  de forma a utilizarmos o modelo no regime de on-off.

Com o uso desse modelo, mimetizamos as emissões observadas em diversos sistemas físicos que apresentam comportamento difusivo superposto a presença de “bursts” intermitentes. Nesse caso analisamos:

- As propriedades estatísticas das emissões;
- As características dos impulsos em suas fases de ejeção e injeção;
- Possíveis adaptações dos parâmetros para se adequar as características experimentais;
- Analisar o papel dos termos estocásticos no modelo;
- Analisar a dependência da função da kurtose em relação a assimetria da distribuição. Nesse sentido existem observações que apontam para uma função quadrática entre esses dois momentos estatísticos sempre que as emissões apresentam eventos raros;
- Confrontar os resultados experimentais com os previstos pelo modelo.

Como um segundo caso a ser estudado usamos a equação de Schrödinger não linear (NLSE), tal equação pode ser usada para estudarmos sistemas de muitos graus de liberdade. A NLSE é um modelo universal para muitos sistemas físicos podendo ser aplicada em várias áreas da física, como hidrodinâmica, óptica não linear, condensados quânticos, física de plasmas entre outras [16-17]. A equação com termos de forçamento e amortecimento é descrita na seguinte forma: Em particular em física e plasma ela esta associada a muitas situações de interesse.

$$\psi_t - \psi_{xx} - (g|\psi|^2 - \Omega^2)\psi = \Gamma - i\nu\psi$$

Como diagnósticos podemos usar quantidades que apresentam dinâmica constante para o caso conservativo, (integrais de movimento) mas possuem variações quando sujeito a forçamento e dissipação. Os principais diagnósticos são: o balanço de massa, escrito na forma:

$$M(t) = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} |\psi(x, t)|^2 dx.$$

e a função para a energia do sistema, dada na forma:

$$e = \frac{1}{L} \int_{-L/2}^{L/2} \left( -|\partial_x \Psi|^2 + \frac{g}{2}|\Psi|^4 - \Omega^2|\Psi|^2 \right) dx$$

a integração no espaço transforma essas quantidades em quantidades que variam somente no tempo, tornando-as ideais para análise.

É possível mostrar que a NLSE pode apresentar intermitência on-off, para um conjunto de parâmetros. Nesse caso faz-se uma análise do comportamento das emissões decorrentes da integração da equação diferencial parcial. A metodologia se baseia na mesma realizada para a primeira parte desse projeto, sendo os mesmos diagnósticos repetidos para esse modelo. Com isso pretende-se traçar alguns comportamentos

universais desses sistemas e poder realizar paralelos com as emissões observadas em sistemas físicos reais.

De forma a generalizar os conceitos desenvolvidos nesses dois modelos, podemos, ainda, utilizar, outras equações que apresentam comportamentos semelhantes e são utilizadas na literatura como modelos de emissões. Entre esses modelos podemos citar:  
a equação de Hasegawa-Mima

$$\frac{\partial}{\partial t} (\nabla^2 \phi - \phi) - [(\nabla \phi \times \hat{z}) \cdot \nabla] \left[ \nabla^2 \phi - \ln \left( \frac{n_0}{\omega_{ct}} \right) \right] = 0$$

ao, ainda a equação de Hasegawa-Wakatani

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial}{\partial t} - D \nabla^2 \right) n + \frac{\partial \phi}{\partial y} + c(n - \phi) &= [n, \phi], \\ \left( \frac{\partial}{\partial t} - \nu \nabla^2 \right) \nabla^2 \phi + c(n - \phi) &= [\nabla^2 \phi, \phi]. \end{aligned}$$

todas essas equações se mostram na literatura como possuidoras de soluções que, de modo geral, se assemelham a emissões de um plasma. Em particular, definindo intervalos para seus parâmetros, elas se mostram portadoras de estados intermitentes. Dessa forma, constituem um laboratório importante para o estudo das características das emissões observadas. De forma semelhante a NLSE esses dois últimos modelos também apresentam integrais de movimento em seu regime conservativo que podem ser usados como diagnósticos nesse trabalho.

### **6.3 Transporte anômalo em sistemas conservativos e/ou fracamente dissipativo e sua relação com propriedades dos espaços de fase**

Como um segundo tópico de interesse, analisaremos o transporte que ocorre em sistemas conservativos e/ou fracamente dissipativos. Transporte anômalo é uma área de pesquisa muito ativa em física, de forma geral, refere-se a processos que ocorrem fora do equilíbrio e dessa forma não podem ser estudados usando-se o método padrão da mecânica estatística. Nessa parte do projeto estudaremos como características determinísticas apresentadas por um sistema físico fora do equilíbrio podem ser usadas para se produzir transporte direto ou anômalo em sistemas conservativos ou quase conservativos [18-22]. Investigamos como esse transporte pode existir mesmo na ausência de assimetrias nos potenciais [23] e finalmente analisamos o papel realizado por regiões não hiperbólicas<sup>2</sup> no espaço de fase em relação ao mecanismo de transporte.

Uma classe fundamental de sistemas onde o transporte é importante são as catracas. Tais problemas ocorrem em várias áreas da ciências, como motores moleculares [24, 25], separação de micro partículas imersas em colóides [26] e mesmo em transporte em quantum ou nano escalas [20, 24, 27]. Sabe-se que é possível obter-se transporte em sistemas com potenciais espacialmente assimétricos influenciados por forçamentos externos.

Recentemente mostramos ainda que propriedades do espaço de fase podem ser usadas para se obter considerável transporte mesmo na ausência de assimetrias consideráveis nos potenciais [23]. Nesse trabalho concluímos que regiões não hiperbólicas do espaço de fase fazem um papel fundamental na dinâmica do sistema, mostramos que tais regiões blindam partes do espaço de fase, fazendo com que o sistema possa apresentar correntes em determinadas direções (transporte direto).

Nesse linha de atuação damos continuidade a essa linda de pesquisa, generalizando o papel dessas

<sup>2</sup> Regiões hiperbólicas do espaço de fase são aquelas nas quais suas variedades estáveis e instáveis possuem interseções formando ângulos próximos a  $\pi/2$ . Quando tais interseções são tangentes ou quase-tangentes dizemos que essa região é não-hiperbólica.

regiões não hiperbólicas. Pretende-se realizar uma correlação entre tais regiões e o fenômeno de grude, e eventualmente mostrar uma relação direta entre a presença de tais regiões nos arredores das ilhas e o aparecimento de grude na interface ilha de ressonância - espaço caótico.

Para tanto usaremos como primeira abordagem a dinâmica do mapa padrão, descrito na forma:

$$p_{n+1} = (1 - \gamma)p_n + K[\sin(x_n) + a \sin(2x_n + \pi/2)],$$

$$x_{n+1} = x_n + p_{n+1},$$

sendo  $a$  o parâmetro de assimetria do potencial,  $K$  o parâmetro de não linearidade.  $\gamma$  é a taxa de dissipação de energia e, se ajustada como zero, torna a dinâmica do mapa conservativa. Outros modelos serão ajustados para se verificar a generalidade dos conceitos observados. Dessa forma pretende-se mostrar que, em geral, regiões não hiperbólicas do espaço de fase são responsáveis pelo mecanismo por trás do fenômeno de grude e estreitamente relacionados com transporte anômalo apresentados por esses modelos. Resultados preliminares decorrentes de uma tese de doutoramento em andamento, mostram que existe uma forte região não-hiperbólica em torno de ilhas de ressonância. As vizinhanças das ilhas apresentam ainda, pequenos “canais hiperbólicos”. Simulações preliminares mostram que a injeção de uma trajetória na região de grude bem como sua ejeção está estreitamente relacionada as larguras e abundâncias de tais canais. De fato é a presença desses canais que permitem que trajetórias grudem ou escapem da vizinhança. Tal tema está sendo desenvolvido em um programa de doutoramento, e deve trazer algumas respostas a questão: qual o mecanismo que leva trajetórias a apresentarem grudes nas interfaces caos-ilhas de ressonâncias em sistemas conservativos.

#### 6.4. Análise de imagens via recorrências

Recentemente, mostramos que a transformação de uma imagem do espaço real para o espaço de recorrência pode fazer um papel importante no diagnóstico por imagens [28]. Nessa linha de pesquisa apresenta-se métodos computacionais voltados a detecção e magnificação de detalhes apresentados em imagens bem como a detecção de fronteiras. Tais fronteiras podem esconder estruturas importantes, como é o caso (entre muitas outras situações) de regiões com suspeita de câncer em tecidos biológicos. O método computacional utilizado é baseado nas ideias de Eckmann et. al. [29], que em 1987 propôs os gráficos de recorrência (RP - Recurrence Plots), uma derivação do pioneiro trabalho de J. H. Poincaré (1854-1912) em 1890. Uma matriz de recorrência é definida da seguinte maneira:

$$R_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \approx x_j \\ 0 & \text{if } x_i \not\approx x_j \end{cases}$$

ou seja é composta de uma matriz de “zeros” e “uns”, sobre as quais podemos realizar quantificações sobre a dinâmica do sistema. Nesse subprojeto utilizamos dois quantificadores das matrizes de recorrência: são eles a taxa de recorrência que nos estabelece uma densidade de pontos recorrentes e o determinismo, que mede o grau de previsibilidade de regiões do espaço de fase. A taxa de recorrência é definida como

$$RR(\epsilon) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N R_{i,j}$$

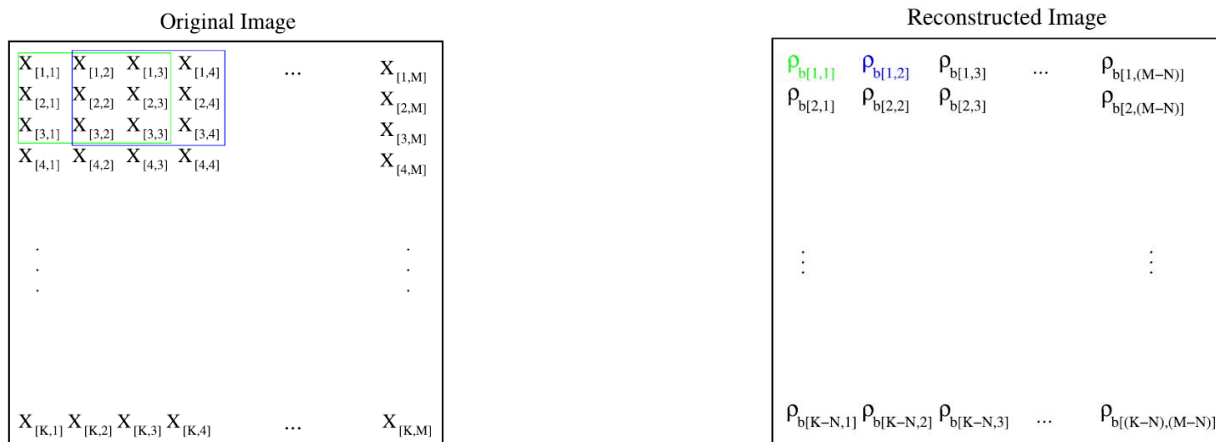
Sendo  $N$  o número de pontos analisados na série temporal. O determinismo pode ser expresso na forma

$$DET = \frac{\sum_{\ell=\ell_{min}}^N \ell P(\ell)}{\sum_{\ell=1}^N \ell P(\ell)}$$

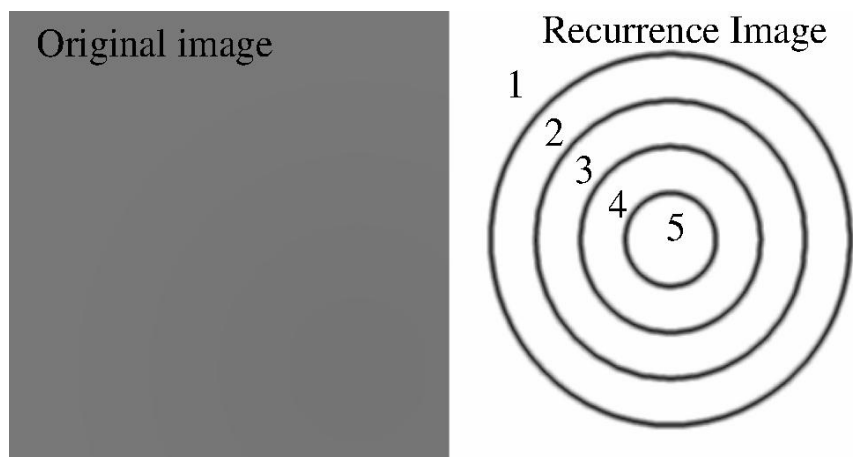
sendo que  $\ell$  estabelece o tamanho mínimo de pontos em uma série temporal que será considerado como conjunto recorrente à mesma série em um tempo posterior (de forma mais simplificadas são conjuntos de diagonais na matriz de recorrência). O vasto período existente entre Poincaré até o desenvolvimento dos gráficos de recorrência, deve-se muito ao desenvolvimento tardio dos computadores que surgiram somente no pós-segunda guerra mundial, e viram seu rápido desenvolvimento e sua popularização após a década de 60. O trabalho aqui desenvolvido utiliza quantificadores de recorrência para a análise de imagens.

Ambos os quantificadores tem sido usados por nós na análise de imagens [28]. Para tanto foi desenvolvido uma generalização do conceito de análise de recorrências em séries temporais para que esses

quantificadores possam ser usados na análise de imagens. Nesse sentido altera-se a análise de um seguimento unidimensional de uma série transformando-o em um bloco no espaço bi-dimensional. Nesse sentido cada bloco da imagem pode ser traduzida em um outro conjunto de pontos no espaço de recorrência. Tal procedimento é esquematizado na figura abaixo:

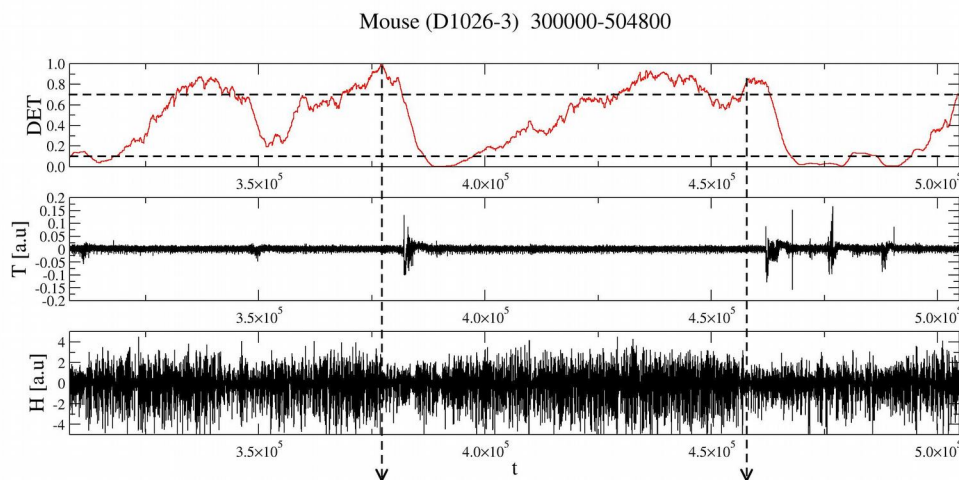


Nesse procedimento, cada bloco colorido (verde ou azul em nosso exemplo) leva a um único valor na matriz de recorrência. Tal procedimento leva a uma imagem onde todos os padrões uniformes são mapeados para branco sendo que somente as fronteiras são observáveis. Abaixo uma figura mostrando o espaço real onde 5 sucessivos tons de cinza são produzidos em círculos concêntricos. Como pode ser observado do lado esquerdo, tais tons sucessivos não podem ser facilmente observados pelo olho humano. Entretanto todas as fronteiras entre esses tons de cinzas são fortemente marcados no espaço de recorrência. Tal característica do espaço de recorrência pode ser de utilidade no diagnóstico por imagens e diversas áreas da ciência.



Outra aplicação abordada por nós de séries de quantificadores de recorrência, é sua aplicação na análise dos estágios de sono de mamíferos. Nessa linha desenvolvemos a análise de séries de períodos de sono de camundongos. De forma geral, os resultados iniciais mostram que é possível o diagnóstico através de sensores não invasivos da atividade do hipocampo, tornando, assim, viável o diagnóstico de estágios/patologias do sono em humanos, uma vez que o uso atual de sensores não invasivos baseados na captação de campos médios da atividade do hipocampo leva a grandes erros na análise do comportamento. Estudos iniciais baseados em dados obtidos por acelerômetros (sensores não invasivos, colocados no corpo dos camundongos) mostram que tais aplicações são promissoras. A imagem a seguir mostra claramente que séries temporais do determinismo adequadamente construídas, marcam claramente a atividade de camundongos durante estágios de sono. Tais marcações concordam com boa precisão com

mudanças na atividade do hipocampo que determinam que o indivíduo está em processos conhecidos como micro-acordar. Nesse processo o hipocampo é ativado de forma a despertar o indivíduo para resgatar níveis adequados de ventilação e/ou outros fatores biológicos. Esse processo é importante para a saúde do indivíduo. Os dados mostram claramente o processo de relaxamento seguindo de uma mudança na atividade do hipocampo e consequente acordar.



Nessa linha de pesquisa, visamos o entendimento desse novo diagnóstico e assim tornar possível seu uso tecnológico.

#### 6.4 Redes neurais

Nessa linha de pesquisa, fazemos o uso de simulações computacionais de modelos de redes neurais. No momento nossa principal ação nessa linha, é o estudo de estados sincronizados ou parcialmente sincronizados em aglomerados de redes (redes de redes). Nessa linha simulamos um conjunto de  $N$  redes de  $M$  osciladores cada, acoplados internamente (dentro da sub rede) em um regime de pequeno mundo e externamente cada sub rede é acoplada via seus campos médios e seguindo uma matriz de conexão pré-definida.

Nosso objetivo é definir valores otimizados para os parâmetros de acoplamentos internos e externos das sub redes de forma que possamos estudar a o surgimento de estados sincronizados, parcialmente sincronizados e a formação de aglomerados (clústeres), bem como mecanismos de sincronização/dessincronização. Nessa linha de pesquisa objetivamos desenvolver estudos que mostrem a maleabilidade de uma rede. Em outras palavras, definirmos a possibilidade de, dado um grau de acoplamento, obtermos um estado sincronizado ou a possibilidade de dessincronização de uma rede. Definimos ainda a falta de maleabilidade, que é o estado de uma rede que impossibilita o estado sincronizado para qualquer grau de acoplamento, bem como torna essa rede imune ou quase imune a variações de parâmetros, ou seja, torna essa rede incapaz de se adaptar a novos parâmetros.

De forma a levar adiante esse estudo fez a opção por analisar uma rede baseada em um modelo matemático de neurônios bem aceito na literatura, conhecido como modelo de Hodgkin-Huxley [30, 31], embora outros modelos possam ser igualmente utilizados, tais como o modelo de Hindmarsh-Rose [32] ou modelo de Rulkov [33].

#### O Modelo de Hodgkin-Huxley

Esse, foi o primeiro modelo relativamente completo da dinâmica da membrana neuronal, foi publicado por A. L. Hodgkin e A. F. Huxley em 1952 [30]. Este trabalho permitiu o desenvolvimento de uma aproximação quantitativa para entender o mecanismo biofísico da geração do potencial de ação em experimentos com o axônio gigante de uma espécie de lula. Esses primeiros trabalhos conseguiram revelar os fundamentos do comportamento elétrico neural sob um aspecto matemático formal, abrindo espaço para a modelagem matemática de neurônios isolados e de redes de neurônios. Os autores mostraram que a causa dos pulsos observados em medidas eletrofisiológicas era o fluxo de íons através da membrana celular e que o comportamento destes pulsos estava relacionado a mecanismos ativos e seletivos presentes na membrana celular e, mais tarde, identificados como canais iônicos.

Uma variação do modelo de Hodgkin e Huxley, é o modelo de Huber Braun [33,34] Esse modelo possui algumas vantagens quando se analisa estados de disparos dos neurônios. Como nosso primeiro objetivo, nessa linha é a determinação de estados síncronos bem como características desses estados, fizemos a opção de usarmos esse modelo, nessa linha de pesquisa. Tal modelo é muito semelhante ao modelo original de Hodgkin e Huxley e pode ser descrito pelas seguintes equações

$$C_M \frac{dV}{dt} = -I_{Na} - I_K - I_{sd} - I_{sa} - I_L + I_{ext},$$

$$I_{Na} = \rho \bar{g}_{Na} a_{Na} (V - E_{Na}),$$

$$I_K = \rho \bar{g}_K a_K (V - E_K),$$

$$I_{sa} = \rho \bar{g}_{sa} a_{sa} (V - E_{sa}),$$

$$I_L = \rho \bar{g}_L (V - E_L),$$

$$I_{sd} = \rho \bar{g}_{sd} a_{sd} (V - E_{sd}),$$

$$\rho = \rho_0 \frac{(T-T_0)}{\tau_0},$$

$$\frac{da_{Na}}{dt} = \frac{\phi}{\tau_{Na}} (a_{Na,\infty} - a_{Na}),$$

$$\frac{da_K}{dt} = \frac{\phi}{\tau_K} (a_{K,\infty} - a_K),$$

$$\frac{da_{sa}}{dt} = \frac{\phi}{\tau_{sa}} (-\eta I_{isd} - \gamma a_{sa}),$$

$$\frac{da_{sd}}{dt} = \frac{\phi}{\tau_{sd}} (a_{sd,\infty} - a_{sd}),$$

$$\phi = \phi_0 \frac{(T-T_0)}{\tau_0}.$$

$$a_{Na,\infty} = \frac{1}{1 + \exp[-s_{Na}(V_i - V_{0Na})]},$$

$$a_{K,\infty} = \frac{1}{1 + \exp[-s_K(V_i - V_{0K})]},$$

$$a_{sd,\infty} = \frac{1}{1 + \exp[-s_{sd}(V_i - V_{0sd})]},$$

Sendo que os parâmetros são características do modelo e podem ser identificados na referência [28]. De forma geral é um conjunto de 5 equações diferenciais acopladas, e pode ser resolvido numericamente. Nosso modelo consiste de 53 sub redes de 256 a 1025 neurônios cada, totalizando 67840 a 271360 equações diferenciais de devem ser resolvidas simultaneamente. Tal procedimento numérico é realizados em códigos paralelos (CUDA e Openmp) desenvolvidos pelo grupo.

## 6.5 Bibliografia

- [1] W. Horton, **Phys. Rep.** 192 ,1 (1990).
- [2] R. Jha et al. , **Phys. Rev. Lett.** 69 , 1375 (1992).
- [3] H. Tennekes, J. L. Lumley, A first course in turbulence, The MIT Press, 15ª Edição, Cambridge, EUA, (1994).
- [4] G. K. Batchelor, The theory of homogeneous turbulence. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1959.
- [5] P. P. Galuzio, Lopes, S. R., Viana, R. L. **Phys. Rev. Lett.** 105, 055001, (2010).
- [6] P. P. Galuzio, S. R. Lopes, and R. L. Viana, **Phys. Rev. E** 84, 056211, (2011).
- [7] B. Labit et al. , **Phys. Rev. Lett.** 98 , 255002 (2007).
- [8] G. Y. Antar et al. , **Phys. Rev. Lett.** 87 , 065001 (2001).
- [9] G. Y. Antar et al. , **Phys. Plasmas** 10 , 419 (2003).
- [10] J. A. Krommes, **Phys. Plasmas** 15 , 030703 (2008).
- [11] I. Sandberg et al. , **Phys. Rev. Lett.** 103 , 165001 (2009).
- [12] O. E. Garcia, et al. , **Phys. Rev. Lett.** 92 , 165003 (2004).
- [13] O. E. Garcia, **Phys. Rev. Lett.** 108 , 265001 (2012).
- [14] Y. Hong-liu and G. Radons, **Phys. Rev. Lett.** 108 , 154101 (2012).
- [15] Y. C. Lai, **Phys. Rev. E** 53 , R4267 (1996).
- [16] E. Shlizerman, V. Rom-Kedar, **Phys. Rev. Lett.** 96 , 024104 (2006).
- [17] I. Barashenkov, E. Zemlyanaya, **Phys. Rev. Lett.** 83 , 2568 (1999).
- [18] R. Venegeroles, **Phys. Rev. Lett.** 101, 054102 (2008).
- [19] J. L. Mateos, **Phys. Rev. Lett.** 84, 258 (2000).
- [20] L. Wang et al., **Phys. Rev. Lett.** 99, 244101 (2007).
- [21] A. Celestino et al., **Phys. Rev. Lett.** 106, 234101 (2011).
- [22] Zaslavsky, G. M. **Phys Rep.** 371, 461 (2002).
- [23] S. R. Lopes, J. D. Szezech Jr., R. F. Pereira, A. A. Bertolazo, **Phys. Rev. E** 86, 016216 (2012).
- [24] R. D. Astumian and P. Hänggi, **Phys. Today** 55 No. 11, 33 (2002).
- [25] C. Veigel and C. F. Schmidt, **Science** 325, 826 (2009).
- [26] J. Rousselet et al., **Nature** 370, 446 (1994).
- [27] H. Linke et al., **Europhys. Lett.** 44, 341 (1998).
- [28] T. de L. Prado , S. R. Lopes, C. A. S. Batista, J. Kurths, R. L. Viana, Synchronization of bursting Hodgkin-Huxley-type neurons in clustered networks Submetido ao Physical Review W, Junho, 2014.
- [29] J. P. Eckmann, S. O. Kamphorst, D. Ruelle: Recurrence plots of dynamical systems, **Europhys. Lett.**, 5, 973-977 (1987).
- [30] A. L. Hodgkin e A. F. Huxley, **J. Physiol.** 117, 500 (1952). [4] N. F. Rulkov, **Phys. Rev. Lett.** 86, 183 (2001).
- [31] H. Yinghang , G. Yubing, W. Li, M. Xiaoguang e Y. Chuanlu, **Chaos, Solitons and Fractals** 44, 260-268 (2011).
- [32] J. L. Hindmarsh e R. M. Rose, **Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B** 221, 87 (1984).
- [33] C. A. S. Batista, A. M. Batista, S. R. Lopes e R. L. Viana, **Neural Networks** 23, 114 (2010).
- [34] H. A. Braum, M. T. Huber, M. Dewald, K. Schafer e K. Voight, **Internacional Journal of Bifurcation and Chaos** 8, 881-889 (1998).
- [35] U. Feudel, A. Neiman, X. Pei, W. Wojtenek, H. Braum, M. Huber e F. Moss, **Chaos** 10, 1 (2000).
- [36] D. R. Chialvo, **Physica A** 340, 756 (2004). O. Sporns, D. R. Chialvo, M. Kaiser e C. C. Hilgetag, **Trends Cogn. Sci** 8, 418 (2004).
- [37] C. A. S. Batista, A. M. Batista, J. C. A. Pontes, S. R. Lopes e R. L. Viana, **Chaos, Solitons and Fractals** 41, 2220 (2009).
- [38] J. C. A. Pontes, R. L. Viana, S. R. Lopes, C. A. S. Batista, e A. M. Batista, **Physica A**, 387, 4417-2228 (2008).

## 7. Produção científica

Durante esses 20 anos de atividades profissionais, muitas atividades foram realizadas, inúmeras participações em congressos nacionais/internacionais, participações em bancas de defesas de mestrado e doutorado. Um retrato fiel dessas atividades podem ser encontradas em meu Curriculum Lattes disponível através do link

<http://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4782374A0&mostrarNroCitacoesISI=true&mostrarNroCitacoesScopus=true&mostrarNroCitacoesScielo=true>

De forma a fazer um resumo dessa trajetória científica, listo abaixo as publicações científicas divulgadas em jornais internacionais em ordem cronológica inversa. Algumas publicações marcantes nesses mais de 20 anos de trabalhos são marcadas e um breve resumo é apresentado.

### 7.1 Artigos em revistas internacionais

1. Dos S. Silva, F.A. ; Viana, R.L. ; De L. Prado, T. ; Lopes, S.R. . Characterization of spatial patterns produced by a Turing instability in coupled dynamical systems. Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation, v. 19, p. 1055-1071, 2014.

2. Viana, R.L. ; Borges, F.S. ; Iarosz, K.C. ; Batista, A.M. ; Lopes, S.R. ; Caldas, I.L. . Dynamic range in a neuron network with electrical and chemical synapses. Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation, v. 19, p. 164-172, 2014.

3. Prado, T. L. ; Galuzio, P. P. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Spatial recurrence analysis: A sensitive and fast detection tool in digital mammography. Chaos (Woodbury, N.Y.), v. 24, p. 013106, 2014.

*\* Primeiro trabalho tratando da generalização do estudo de recorrência espacial para o caso de análise de imagens. Aqui mostramos que é possível definirmos uma transformação que faz com que a imagem real possa ser representada no espaço de recorrência. Estudos iniciais demonstram que para alguns casos a análise dessa imagem de recorrência pode ser de interesse no diagnóstico médico por imagens, bem como se estuda a ideia de se aplicar a mesma técnica em outras áreas, onde a diferenciação entre pequenas variações de tons podem ser importante.*

4. Galuzio, P.P. ; Lopes, S.R. ; dos Santos Lima, G.Z. ; Viana, R.L. ; Benkadda, M.S. . Evidence of determinism for intermittent convective transport in turbulence processes. Physica. A (Print), v. 402, p. 8-13, 2014.

5. Bonatto, A. ; Nunes, R.P. ; Bonatto, C. ; Pakter, R. ; Lopes, S.R. ; Rizzato, F.B. . Multidimensional aspects of nonlinear electromagnetic solitary pulses. Physica. A (Print), v. 15, p. 332-340, 2014.

6. Galuzio, P. P. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Control of extreme events in the bubbling onset of wave turbulence. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print), v. 89, p. 040901, 2014.

*\* Nosso primeiro trabalho na linha de controle do “onset” de turbulência. Aqui mostramos que é possível, a partir de uma análise do mecanismo de geração intermitente de turbulência, prevermos assim como evitarmos a geração de perturbações impulsivas do estado turbulento (que chamamos de eventos extremos). Usando de tal procedimento, é possível fazer com que um sistema com comportamento de sistemas fora do equilíbrio possam apresentar flutuações em estados de equilíbrio.*

7. Toufen, D. L. ; Guimara'es-Filho, Z. O. ; Caldas, I. L. ; Szezech, J. D. ; Lopes, S. ; Viana, R. L. ; Gentle, K. W. . Analysis of the influence of external biasing on Texas Helimak turbulence. Physics of Plasmas, v. 20, p. 022310, 2013.

*\* Primeiro trabalho onde o mecanismo de geração de estados turbulentos desenvolvido pelo grupo foi aplicado em um caso real. Mais especificamente, dados obtidos da máquina Helimak, instalada na Universidade do Texas são analisados e comparados com características previstas pelo mecanismo de geração proposto.*

8. Batista, Carlos Adalberto Schnaider ; Viana, R. L. ; Ferrari, F. A. S. ; Lopes, S. R. ; Coninck, J. C. P. ; Batista, A.M. . Control of bursting synchronization in networks of Hodgkin-Huxley-type neurons with chemical synapses. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print), v. 87, p. 042713, 2013.

9. Borges, F.S. ; Iarosz, K.C. ; REN, H.P. ; Batista, A.M. ; Baptista, M.S. ; Viana, R.L. ; Lopes, S.R. ; Grebogi, C. . Model for tumour growth with treatment by continuous and pulsed chemotherapy. Biosystems (Amsterdam. Print), v. 116, p. 43-48, 2013.
10. Iarosz, K.C. ; Batista, A.M. ; Viana, R.L. ; Lopes, S.R. ; Caldas, I.L. ; Penna, T.J.P. . The influence of connectivity on the firing rate in a neuronal network with electrical and chemical synapses. Physica. A (Print), v. 391, p. 819-827, 2012.
11. Viana, R.L. ; Batista, A.M. ; Batista, C.A.S. ; de Pontes, J.C.A. ; Silva, F.A. dos S. ; Lopes, S.R. . Bursting synchronization in networks with long-range coupling mediated by a diffusing chemical substance. Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation, v. 17, p. 2924-2942, 2012.
12. dos Santos Lima, G.Z. ; Iarosz, K.C. ; Batista, A.M. ; Caldas, I.L. ; Guimarães-Filho, Z O ; Viana, R.L. ; Lopes, S.R. ; Nascimento, I.C. ; Kuznetsov, Yu.K. . Self-organized criticality in MHD driven plasma edge turbulence. Physics Letters. A (Print), v. 376, p. 753-757, 2012.
13. Lopes, S. ; Szezech, J. ; Pereira, R. ; Bertolazzo, A. ; Viana, R. . Anomalous transport induced by nonhyperbolicity. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics (Online), v. 86, p. 016216, 2012.
- \* Nosso primeiro trabalho tratando de mecanismos geradores de transporte anômalo. Nesse trabalho apresentamos uma análise onde pode-se obter transporte anômalo no regime de potenciais de interação fracamente assimétricos. Até então, na literatura, a obtenção de transporte considerável somente era obtido quando a assimetria do potencial era grande. Nesse trabalho mostramos que, o bom entendimento do mecanismo gerador do transporte possibilita a geração de transporte considerável, mesmo na presença somente de pequenas (infinitesimais) assimetrias.*
14. Batista, C. ; Lameu, E. ; Batista, A. ; Lopes, S. ; Pereira, T. ; Zamora-López, G. ; Kurths, J. ; Viana, R. . Phase synchronization of bursting neurons in clustered small-world networks. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics (Online), v. 86, p. 016211, 2012.
15. Caldas, Iberê Luis ; Caldas, I L ; J.D.Szezech ; Marcus, F. ; Viana, Ricardo L ; Szezech, J D ; Kroetz, T ; Viana, R L ; Lopes, S R ; Roberto, M ; Marcus, F A . Transport barriers in plasmas. Journal of Physics. Conference Series (Online), v. 370, p. 012001, 2012.
16. Szezech, J. ; Caldas, I. ; Lopes, S. ; Morrison, P. ; Viana, R. . Effective transport barriers in nontwist systems. Physical Review. E, Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics (Online), v. 86, p. 036206, 2012.
17. Caldas, I L ; Viana, R L ; Abud, C V ; Fonseca, J C D ; Guimarães Filho, Z O ; Kroetz, T ; Marcus, F A ; Schelin, A B ; Szezech, J D ; Toufen, D L ; Benkadda, S ; Lopes, S R ; Morrison, P J ; Roberto, M ; Gentle, K ; Kuznetsov, Yu ; Nascimento, I C . Shearless transport barriers in magnetically confined plasmas. Plasma Physics and Controlled Fusion (Print), v. 54, p. 124035, 2012.
18. Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Szezech, J. D. ; Caldas, I. L. . SYNCHRONIZATION OF CHAOS AND THE TRANSITION TO WAVE TURBULENCE. International Journal of Bifurcation and Chaos in Applied Sciences and Engineering, v. 22, p. 1250234, 2012.
19. Lameu, E. L. ; Batista, C. A. S. ; Batista, A. M. ; Iarosz, K. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Kurths, J. . Suppression of bursting synchronization in clustered scale-free (rich-club) neuronal networks. Chaos (Woodbury, N.Y.), v. 22, p. 043149, 2012.
20. Szezech, J.D. ; Schelin, A.B. ; Caldas, I.L. ; Lopes, S.R. ; Morrison, P.J. ; Viana, R.L. . Finite-time rotation number: A fast indicator for chaotic dynamical structures. Physics Letters. A (Print), v. 377, p. 452-456, 2012.
- Trabalho importante onde, pela primeira vez na literatura, propomos o uso do número de rotação finito, para diagnóstico de estados dinâmicos de um sistema, de forma similar ao realizados pelo expoente de Lyapunov a tempo finito.*
21. Viana, R.L. ; Lopes, S. R. ; Caldas, I.L. ; Szezech Jr, J.D. ; Guimarães-Filho, Z. O. ; dos Santos Lima, G.Z. ; Galuzio, P.P. ; Batista, A.M. ; Kuznetsov, Yu.K. ; Nascimento, I.C. . Dynamical analysis of turbulence in fusion plasmas and nonlinear waves. Communications in Nonlinear Science & Numerical Simulation, v. 17, p. 4690-4699, 2012.

22. Szezech Jr., J.D. ; Lopes, S.R. ; Caldas, I.L. ; Viana, R.L. . Blowout bifurcation and spatial mode excitation in the bubbling transition to turbulence. *Physica. A (Print)*, v. 390, p. 365-373, 2011.
23. Pereira, R. ; Viana, R. ; Lopes, S. ; Vergès, M. ; de S. Pinto, S. ; Lopes, S. R. . Parametric evolution of unstable dimension variability in coupled piecewise-linear chaotic maps. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print)*, v. 83, p. 037201, 2011.
24. Lima, G Z dos Santos ; Iarosz, K C ; Batista, A M ; Guimarães-Filho, Z O ; Caldas, I L ; Kuznetsov, Y K ; Nascimento, I C ; Viana, R L ; Lopes, S R . Radial dependence of self-organized criticality behavior in TCABR tokamak. *Journal of Physics. Conference Series (Online)*, v. 285, p. 012004, 2011.
25. Iarosz, K C ; Martins, C C ; Batista, A M ; Viana, R L ; Lopes, S R ; Caldas, I L ; Penna, T J P . On a cellular automaton with time delay for modelling cancer tumors. *Journal of Physics. Conference Series (Online)*, v. 285, p. 012015, 2011.
26. Viana, R. ; dos S. Silva, F. ; Andrade, R. F. S. ; Lopes, S.R. . Turing instability in oscillator chains with nonlocal coupling. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print)*, v. 83, p. 046220, 2011.
27. Galuzio, P. ; Viana, R. ; Lopes, S. R. . Two-state on-off intermittency caused by unstable dimension variability in periodically forced drift waves. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics (Print)*, v. 84, p. 056211, 2011.
28. Batista, C.A.S. ; Lopes, S.R. ; Viana, R.L. ; Batista, A.M. . Delayed feedback control of bursting synchronization in a scale-free neuronal network. *Neural Networks*, v. 23, p. 114-124, 2010.
29. Galuzio, P. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. . Two-State On-Off Intermittency and the Onset of Turbulence in a Spatiotemporally Chaotic System. *Physical Review Letters (Print)*, v. 105, p. 055001, 2010.  
*\* Primeiro trabalho onde o conceito de intermitência on-off de dois estados é apresentado. Nesse trabalho mostramos que é possível um sistema físico apresentar dois estados globalmente instáveis porém localmente estáveis, isso faz com o que a dinâmica possa ficar transitando entre esses dois estados indeterminadamente. No trabalho mostramos que esse é o caso de um fenômeno de ondas importantes em plasmas, a onda de deriva.*
30. Pereira, Rodrigo F. ; de S. Pinto, Sandro E. ; Lopes, Sergio R. . Synchronization time in a hyperbolic dynamical system with long-range interactions. *Physica. A (Print)*, v. 389, p. 5279-5286, 2010.
31. Camargo, S ; Lopes, S R ; Viana, R L . Extreme fractal structures in chaotic mechanical systems: riddled basins of attraction. *Journal of Physics. Conference Series (Online)*, v. 246, p. 012001, 2010.
32. Vergès, M. C. ; Pereira, R. F. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Kapitaniak, T. . Riddling and chaotic synchronization of coupled piecewise-linear Lorenz maps. *Physica. A*, v. 388, p. 2515-2525, 2009.
33. Szezech Jr, J. D. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Caldas, I. L. . Bubbling transition to spatial mode excitation in an extended dynamical system. *Physica D*, v. 238, p. 516-525, 2009.
34. Santos, A. M. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Intermittent Behavior and Synchronization of Two Coupled Noisy Driven Oscillators. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2009, p. 610574, 2009.
35. Lima, G. Z. S. ; Guimaraes-Filho, Z. ; Batista, A. M. ; Caldas, I. L. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Nascimento, I. C. ; Kuznetsov, Y. K. . Bicoherence in electrostatic turbulence driven by high magnetohydrodynamic activity in Tokamak Chauffage Alfvén Brésilien. *Physics of Plasmas*, v. 16, p. 042508, 2009.
36. Woellner, C. F. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Caldas, I. L. . Clustering and diffusion in a symplectic map lattice with non-local coupling. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 41, p. 2201-2215, 2009.
37. Batista, C. A. S ; Batista, A. M. ; Pontes, J. C. A. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Bursting synchronization in scale-free networks. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 41, p. 2220-2225, 2009.
38. Viana, R. L. ; Camargo, S. ; Pereira, R. F. ; Vergès, M. C. ; Lopes, S. R. ; Pinto, S. E. S. . Riddled basins

in complex physical and biological systems. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, v. 1, p. 73-82, 2009.

39. Szezech, J. D. ; Caldas, I. L. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Morrison, P. J. . Transport properties in nontwist area-preserving maps. *Chaos (Woodbury)*, v. 19, p. 043108, 2009.

40. Szmoski, R. M. ; Pinto, S. E. De S. ; Kan, M. T. ; Batista, A. M. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Synchronization and suppression of chaos in non-locally coupled map lattices. *Pramana (Bangalore)*, v. 73, p. 999-1009, 2009.

41. Batista, A. M. ; Caudas, I. L. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Low-dimensional chaos and wave turbulence in plasmas. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, v. 366, p. 609-620, 2008.

42. Santos, A. M. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Synchronization regimes for two coupled noisy Liénard-type driven oscillators. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 36, p. 901-910, 2008.

43. Santos, A. M. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Pinto, S. E. S. ; Batista, A. M. . Collective behavior in coupled chaotic map lattices with random perturbations. *Physica. A*, v. 387, p. 1655-1668, 2008.

44. Pontes, J. C. A. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Batista, C. A. S ; Batista, A. M. . Bursting synchronization in non-locally coupled maps. *Physica. A*, v. 387, p. 4417-4428, 2008.

45. Kubo, G. T. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Grebogi, C. . Crisis-induced unstable dimension variability in a dynamical system. *Physics Letters A*, v. 372, p. 5569-5574, 2008.

46. Pereira, R. F. ; Camargo, S. ; de S. Pinto, S. E. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Periodic-orbit analysis and scaling laws of intermingled basins of attraction in an ecological dynamical system. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics*, v. 78, p. 056214, 2008.

47. Souza, Everton G. ; Viana, Ricardo L. ; Lopes, Sérgio R. . Using recurrences to characterize the hyperchaos-chaos transition. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics*, v. 78, p. 066206, 2008.

\* Primeiro trabalho apresentando análises de quantificadores de recorrência para determinar a transição, caos-hipercaos em sistemas dinâmicos. Esse trabalho foi importante pois abriu caminhos para uma das áreas de pesquisa hoje desenvolvida, *Análise de imagens e séries temporais via quantificadores de recorrência*.

48. Bonetti, R. C. ; Batista, C. A. S. ; Batista, A. M. ; de S. Pinto, S. E. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Short-time memories in a network with randomly distributed connections. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear and Soft Matter Physics*, v. 78, p. 037102, 2008.

49. Santos, A. M. ; Woellner, C. F. ; Lopes, S. R. ; Batista, A. M. ; Viana, R. L. . Lyapunov spectrum of a lattice of chaotic systems with local and non-local couplings. *Chaos, Solitons and Fractals, Holanda*, v. 32, p. 702-710, 2007.

50. Coninck, J. C. P. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Basins of attraction of nonlinear wave-wave interactions. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 32, p. 711-724, 2007.

51. Szezech JR, J. D. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . The onset of spatio-temporal chaos in a nonlinear system. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics*, v. 75, p. 067202, 2007.

52. Pereira, R. F. ; Pinto, S. E. S. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Grebogi, C. . Periodic orbit analysis at the onset of the unstable dimension variability and at the blowout bifurcation. *Chaos (Woodbury)*, v. 17, p. 023131, 2007.

53. Batista, A. M. ; Pinto, S. E. S. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Direction coherence in scale-free lattices of chaotic maps. *Physica. A*, v. 383, p. 725-732, 2007.

54. Pinto, S. E. S. ; Caudas, I. L. ; Batista, A. M. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Transversal dynamics of a

non-locally-coupled map lattice. Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics, v. 76, p. 017202, 2007.

55. Batista, C. C. A. ; Batista, A. M. ; Pontes, J. C. A. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Chaotic phase synchronization in scale-free networks of bursting neurons. Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics, v. 76, p. 016218, 2007.

*\* primeiro trabalho na linha de pesquisa de redes neurais, resultado de tese de doutoramento. Esse trabalho abriu espaço para os subsequentes trabalhos em redes neurais.*

56. Pontes, J. C. A. ; Batista, A. M. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Self-organized memories in coupled map lattices. Physica. A, Holanda, v. 368,, n.2, p. 387-398, 2006.

57. Santos, A. M. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Pinto, S. E. S. ; Batista, A. M. . Chaos synchronization in a lattice of piecewise linear maps with regular and random couplings. Physica. A, Holanda, v. 367, p. 145-157, 2006.

58. Vasconcelos, D. B. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Pinto, S. E. S. . Conversion of local transient chaos into global laminar states in coupled map lattices with long-range interactions. Physica. A, Holanda, v. 367, p. 158-172, 2006.

59. Batista, A. M. ; Caudas, I. L. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Horton, W. ; Horton, P. . Nonlinear three-mode interaction and drift-wave turbulence in a tokamak edge plasma. Physics of Plasmas, Estados Unidos, v. 13, p. 42510, 2006.

*\*Após 11 anos de término de minha tese de doutoramento, esse foi o primeiro trabalho mostrando a viabilidade dos estudos de acoplamentos e controle de caos apresentados na tese. Tal trabalho foi o reconhecimento de que as publicações de 10 anos atrás estavam no caminho certo da pesquisa científica na área.*

60. Vasconcelos, D. B. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Kurths, J. . Spatial recurrence plots. Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics, Estados Unidos, v. 73, p. 056207, 2006.

*\*Primeiro trabalho sobre recorrência espacial. Esse trabalho servirá de precursor dos trabalhos recentes de recorrências em imagens.*

61. Pontes, J. C. A. ; Batista, A. M. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Short-term memories with a stochastic perturbation. Chaos, Solitons and Fractals, Holanda, v. 23, n.5, p. 1689-1694, 2005.

62. Szezech JR, J. D. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Finite time Lyapunov spectrum for chaotic orbits of non-integrable Hamiltonian systems. Physics Letters A, Holanda, v. 335, n.5-6, p. 294-301, 2005.

*\*Primeiro trabalho a identificar os expoentes de Lyapunov a tempo finito como um bom quantificador de stickiness, bem como qualificador de travessias de quase-torus. Aqui mostramos com detalhe do comportamento do expoente de Lyapunov a tempo finito em sistemas que apresentam o fenômeno de stickiness em sistemas conservativos.*

63. Viana, R. L. ; Grebogi, C. ; Lopes, S. R. ; Pinto, S. E. S. ; Batista, A. M. ; Kurths, J. . Bubbling bifurcation: loss of synchronization and shadowing breakdown in complex systems. Physica D, Holanda, v. 206, n.1-2, p. 94-108, 2005.

64. Santos, A. M. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Rhythm synchronization and chaotic modulation of coupled van der Pol oscillators in a model for the heartbeat. Physica. A, Holanda, v. 338, p. 335-355, 2004.

65. Vasconcelos, D. B. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. ; Batista, A. M. ; Pinto, S. E. S. . Spatial correlations and synchronization in coupled map lattices with long-range interactions. Physica. A, Holanda, v. 343, p. 201-218, 2004.

66. Coninck, J. C. P. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . The presence of an invariant manifold in the dissipative nonlinear four-wave coupling. Physica. A, Holanda, v. 343, p. 247-262, 2004.

#### **Primeiro trabalho publicado com o primeiro aluno de doutorado sob minha orientação**

67. Coninck, J. C. P. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Multistability and phase-space structure of dissipative nonlinear parametric four-wave interactions. Physical Review E. (Cessou em 2000. Cont. 1539-3755 Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics), Estados Unidos, v. 70, p. 56403, 2004.

*\* Um momento de comemoração, nesse trabalho meu primeiro aluno de doutoramento da continuidade aos trabalhos expostos em minha tese de doutorado. Nesse artigo mostramos como a simetria entre os descasamentos de frequências de dois tripletos de ondas envolvidos em uma interação não linear de ondas podem ser utilizados para a geração de estados multiestáveis.*

68. Marcus, S. H. C. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Boundary crises, fractal basin boundaries, and electric power collapses. *Chaos, Solitons and Fractals*, Inglaterra, v. 15, n.2, p. 417-424, 2003.
69. Batista, A. M. ; Pinto, S. E. S. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Mode locking in small-world networks of coupled circle maps. *Physica. A*, Holanda, v. 322, n.1, p. 118-128, 2003.
70. Rizzato, F. B. ; Chian, A. C. L- ; Alves, M. V. ; Erichsen, E. L. ; Lopes, S. R. ; Oliveira, G. I. ; Pakter, R. ; Rempel, E. L. . Langmuir Turbulence and Solar Radio Bursts. *Space Science Reviews*, Inglaterra, v. 107, n.1, p. 507-514, 2003.
71. Pakter, R. ; Rizzato, F. B. ; Lopes, S. R. . Correlation decay and partial coherence in nonlinear waveinteractions. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics*, Estados Unidos, v. 68, n.5, p. 56601, 2003.
72. Viana, R. L. ; Grebogi, C. ; Pinto, S. E. S. ; Lopes, S. R. ; Batista, A. M. ; Kurths, J. . Validity of numerical trajectories in the synchronization transition of complex systems. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics*, Estados Unidos, v. 68, n.6, p. 67204, 2003.
73. Gerhardt, G. J. L. ; Frichembruder, M. ; Rizzato, F. B. ; Lopes, S. R. . Sudden transition to spatiotemporal chaos in a nonlinear Klein-Gordon equation. *Chaos, Solitons and Fractals*, Grã-Bretanha, v. 13, p. 1269-1279, 2002.
74. Pinto, S. E. S. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Collective behavior in a chain of van der Pol oscillators with power-law coupling. *Physica. A*, Holanda, v. 303, n.1, p. 339-356, 2002.
75. Batista, A. M. ; Pinto, S. E. S. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Lyapunov spectrum and synchronization of piecewise linear map lattices with power-law coupling. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics*, Estados Unidos, v. 65, p. 56209, 2002.
76. Chian, A. C. L- ; Borroto F. A. ; Lopes, S. R. ; Abalde, J. R. . Chaotic Dynamics of the Nonthermal Planetary Radio Emissions. *Planetary and Space Science*, Inglaterra, v. 48, p. 09-21, 2000.
77. Batista, A. M. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Multiple short-term memories in coupled weakly nonlinear map lattices. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics*, Estados Unidos, v. 61, n.05, p. 5990-5993, 2000.
78. Chian, A. C. L- ; Abalde, J. R. ; BORROTO, F. A. ; Lopes, S. R. ; Rizzato, F. B. . Nonlinear dynamics and chaos in space plasmas. *Progress of Theoretical Physics. Supplement*, Japão, v. 139, p. 34-45, 2000.
79. Lopes, S. R. ; Rizzato, F. B. . Nonintegrable Dynamics of the Triplet-Triplet Spatiotemporal Interaction. *Physical Review E*. (Cessou em 2000. Cont. 1539-3755 *Physical Review. E*, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics), Estados Unidos, v. 60, n.5, p. 5375-5384, 1999.
80. Lopes, S. R. ; Rizzato, F. B. . Chaos And Energy Redistribution In The Nonlinear Interaction Of Two Spatio-Temporal Wave Triplets. *Physica. D*, Nonlinear phenomena (Print), HOLANDA, v. 117, p. 13-25, 1998.
81. Viana, R. L. ; Clemente, R. A. ; Lopes, S. R. . Spherically Symetric Stationary Mhd Equilibria With Azimuthal Ratation. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, Inglaterra, v. 39, p. 197-203, 1997.
82. Rizzato, F. B. ; Lopes, S. R. ; Chian, A. C. L- . Nonintegrable Interactions Of an Ion Acoustic And Electromagnetic Wavesin A Plasma. *Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids and Related Interdisciplinary Topics*, EUA, v. 55, p. 3423-3430, 1997.
83. Chian, A. C. L- ; Abalde, J. R. ; Alves, M. V. ; Lopes, S. R. . Coherent Generation Of Narrowband Circularly Polarized Radio Bursts From The Sun And Flare Stars. *Solar Physics*, Begica, v. 173, p. 199-202,

1997.

#### **Primeiro trabalho realizado no Departamento de Física da UFPR**

84. Pakter, R. ; Lopes, S. R. ; Viana, R. L. . Transition To Chaos In The Conservative Four-Wave Parametric Interactions. Physica D, HOLANDA, v. 110, p. 277-288, 1997.

*\*Ainda decorrente dos trabalhos de tese, esse foi meu primeiro trabalho realizado no Departamento de Física da UFPR, esse , junto com os trabalhos da tese, oi o embrião de uma linha de pesquisa que já dura 19 anos.*

#### **Trabalhos publicados ou aceitos (cinco no total) durante o curso de doutoramento.**

85. Chian, A. C. L-. ; Lopes, S. R. ; Abalde, J. R. . Hamiltonian Chaos In Two Coupled Three-Wave Parametric Interactions With Quadratic Nonlinearity. Physica D, Holanda, v. 99, p. 269-275, 1996.

86. Lopes, S. R. ; Chian, A. C. L-. . Controlling Chaos In Nonlinear Three-Wave Coupling. Physical Review E. (Cessou em 2000. Cont. 1539-3755 Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics), Estados Unidos, v. 54, p. 170-174, 1996.

87. Lopes, S. R. ; Chian, A. C. L-. . A Coherent Nonlinear Theory Of Auroral Langmuir-Alfven-Whistler (Law) Events In The Planetary Magnetosphere. Astronomy & Astrophysics (Berlin), Alemanha, v. 305, p. 669-676, 1996.

88. Chian, A. C. L-. ; Lopes, S. R. ; Alves, M. V. . Generation Of Auroral Whistler-Mode Radiation Via Nonlinear Coupling Of Langmuir Waves And Alfven Waves. Astronomy & Astrophysics (Berlin. Print), Alemanha, v. 290, p. 13-16, 1994.

89. Chian, A. C. L-. ; Lopes, S. R. ; Alves, M. V. . Nonlinear Excitation Of Langmuir And Alfven Waves By Auroral Whistlers waves In Planetary Magnetosphere. Astronomy & Astrophysics (Berlin. Print), Alemanha, v. 288, p. 981-984, 1994.

*\* primeiro trabalho publicado em uma revista internacional. Trazia o tópico principal de minha tese de doutoramento. Foi escrito em Cambridge, Inglaterra e traduziu os primeiros esforços na linha de pesquisa do entendimento de estados turbulentos. Nesse trabalho um novo mecanismo gerador de estados turbulentos é introduzido, mais propriamente como uma onda eletromagnética (Whistler mode) pode converter energia em um modo longitudinal de Langmuir. Tal mecanismo foi utilizado na explicação de algumas emissões do plasma na magnetosfera da Terra.*

#### **7.2 Livros**

Durante esses anos e decorrente de uma atividade docente voltada a formação de professores do ensino fundamental e médio, foram escritos e publicados alguns livros dedicados a essa comunidade. Abaixo seguem as referências a esses volumes.

1. Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. V. A. . Metodologia do ensino de matemática. 1. ed. Curitiba: IBPEX Editora, 2005. v. 1. 110p .

2. Lopes, S. R. ; Viana, R. L. ; Lopes, S. V. A. . A construção de conceitos matemáticos e a prática docente. Curitiba: Editora Ibpx, 2005. v. 1. 89p .

3. Viana, R. L. ; Lopes, S. R. . Análise e produção de textos didáticos para ensino de matemática e ciências. 1. ed. Curitiba: Editora Ibpx, 2004. v. 1. 112p .