

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



Programa Operacional Ciência e Inovação 2010

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, INOVAÇÃO E ENSINO SUPERIOR

PROJECTO DE INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

RELATÓRIO FINAL

Relatório de Execução Material

REFERÊNCIA DO PROJECTO Nº POCI/MAT/60154/2004

RELATÓRIO FINAL

Referência do projecto: POCI / MAT / 60154 / 2004 /

Título do projecto: Redes de Células Acopladas

Data de Início do Projecto: 01 / Março / 2005

Duração: 39 Meses

Identificação da instituição proponente

Nome ou designação social Associação para o Desenvolvimento da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (ADFCUP)

Morada Praça Gomes Teixeira _____

Localidade Porto _____ Código postal 4099-002

Telefone 220402998 Fax 220402999 Email

Unidade responsável pela execução do projecto

Nome Centro de Matemática da Universidade do Porto _____

Morada Praça Gomes Teixeira _____

Localidade Porto _____ Código postal 4099-002 _____

Telefone _____ Fax _____ Email

Identificação do investigador responsável

Nome Ana Paula da Silva Dias _____

Telefone 220100769 Fax 220402108 Email apdias@fc.up.pt



Equipa de investigação

NOME	FUNÇÃO
Ana Paula da Silva Dias	Investigadora responsável
Stella Maria Costa de Abreu	Investigadora
Manuela Alexandrina David de Aguar	Investigadora
Hugo Liberal Fernandes	Investigador
Rui Castanheira de Paiva	Investigador
Eliana Manuel de Matos Oliveira Pinho (desde Janeiro de 2007)	Investigadora
Carla Manuela Alves Pinto	Investigadora
Ana Margarida Silva Afonso Rodrigues	Investigadora



Conteúdo

1. Resumo dos trabalhos desenvolvidos

2. Objectivos

Objectivos propostos

Objectivos atingidos

3. Indicadores de realização física

4. Publicações

Publicações em revistas internacionais

-Artigos em revistas internacionais publicados em 2005

-Artigos em revistas internacionais publicados em 2006

-Artigos em revistas internacionais publicados em 2007

-Artigo em revista internacional publicado até Maio de 2008

-Artigos aceites em revistas internacionais (para publicação em 2008)

Publicações em actas de congressos científicos internacionais

-Publicações em actas de congressos científicos internacionais (com referee) em 2005

-Publicação em acta de congresso científico internacional (sem referee) em 2006

-Publicação em acta de congresso científico internacional (com referee) em 2007

-Publicações aceites em actas de congressos científicos internacionais (com referee)

-Publicações aceites em actas de congressos científicos internacionais (sem referee)

Tese de doutoramento

Artigo de divulgação em revista nacional

Pré-publicações

5. Relatório de execução material

Visitas académicas realizadas

-Visitas académicas realizadas em 2005

-Visitas académicas realizadas em 2006

-Visitas académicas realizadas em 2007

-Visita académica realizada até Maio de 2008



Participações em conferências

- Participações em conferências em 2005
- Participações em conferências em 2006
- Participações em conferências em 2007
- Participações em conferências até Maio de 2008

Participações em escolas

- Participações em escolas em 2006
- Participações em escolas em 2007

Mini-curso

Outros seminários

- Outros seminários realizados em 2005
- Outros seminários realizados em 2006
- Outros seminários realizados em 2007
- Outros seminários realizados até Maio de 2008

Consultores

- Consultores em 2006
- Consultores em 2007

Resumo das actividades que tiveram o apoio financeiro do projecto POCI/MAT/60154/2004

Orientações

Orientações de tese de conclusão de licenciatura

- Concluída
- Em andamento

Orientações de mestrado

- Concluída
- Em andamento

Orientações de doutoramento

- Concluída
- Em andamento



Coordenação científica de pós-doutoramento

-Concluídas

-Em andamento

Doutoramento

-Concluído

-Em andamento

Agregação

Licença sabática

Projecto

Organizações de conferências e seminários

Organizações de conferências

-Organizações em 2006

-Organizações em 2007

-Organizações em 2008

-Organizações em 2008 (em andamento)

Organizações de seminários



1. Resumo dos trabalhos desenvolvidos

Neste trabalho uma *célula* é um sistema de equações diferenciais ordinárias e um *sistema de células acopladas* é uma colecção de células que interagem entre si. Uma *rede de células acopladas* é um grafo direccionado cujos vértices representam as células e as arestas os acoplamentos entre as células. Fixada uma rede de células acopladas, dada uma escolha do espaço de fase para cada célula, um sistema de células acopladas associado à rede é qualquer sistema de equações cuja estrutura respeite a arquitectura da rede.

Durante o período a que se refere este relatório o trabalho desenvolvido pelos membros da equipa assentou principalmente nos seguintes pontos:

1. Propriedades da arquitectura das redes de células acopladas (RCAs) que determinam a dinâmica e bifurcações dos sistemas de células acopladas que lhe estão associados.
2. Ciclos heteroclínicos em sistemas de células acopladas.
3. Papel da simetria na dinâmica e bifurcações de sistemas de células acopladas com simetria.
4. Aplicações.

Em relação ao ponto 1. o trabalho desenvolvido incluiu:

[ODE-equivalência e minimalidade de RCAs] No artigo [3], Dias e Stewart apresentaram um critério para que RCAs distintas determinem sistemas de células acopladas equivalentes após identificação de forma consistente com as estruturas das redes dos espaços de fase das células. Especificamente, definem ODE-equivalência de RCAs e provam que duas RCAs com o mesmo número de células são ODE-equivalentes se e só se os espaços vectoriais dos campos de vectores lineares e admissíveis para cada uma das RCAs coincidem. Para este fim, basta assumir que o espaço de fase das células seja unidimensional. Na sequência deste trabalho, a questão natural que se pôs foi a caracterização em cada classe pela relação de ODE-equivalência, do representante ou representantes que apresentem o menor número de arestas. Em [12], Aguiar e Dias caracterizam as formas normais de classes de ODE de RCAs, isto é, as RCAs que têm número mínimo de arestas dentro de cada classe de ODE de RCAs. Esta caracterização permitiu a obtenção de um algoritmo que determina as formas normais reduzindo o problema ao cálculo de vectores com comprimento mínimo em cones de reticulados. Este trabalho está integrado na tarefa “Linear equivalence for coupled cell networks” proposta no projecto.

[Bifurcações de redes quocientes] Aguiar e Dias desenvolveram trabalhos em colaboração com Golubitsky (Houston, E.U.A.) e Leite (Purdue, E.U.A.) tendo por objectivo a comparação das bifurcações estado estacionário em sistemas de células acopladas associados a RCAs que partilham a existência de uma mesma rede quociente. Um dos trabalhos deu origem à publicação [13], estando outro trabalho dos mesmos autores submetido para publicação [31]. Notar que Leite foi um dos consultores do projecto.



[RCAs com simetria interior] Paiva sob orientação (de doutoramento) de **Dias** fez o estudo de bifurcação de Hopf a um parâmetro em redes de células acopladas com simetria interior. Essencialmente, diz-se que uma RCA tem simetria interior num subconjunto de células quando a subrede formada a partir da rede inicial retirando todas as arestas que saem desse subconjunto de células é simétrica. Em trabalho conjunto de Antoneli (Porto), **Dias e Paiva [16]** obteve-se um resultado análogo ao Teorema de Hopf Equivariante provando a existência genérica de ramos soluções periódicas em sistemas de células acopladas associados a RCAs com simetria interior. O trabalho **[33]** dos mesmos autores apresenta a prova deste resultado usando redução à variedade central e encontra-se submetido para publicação. Estes trabalhos tiveram a colaboração de Antoneli que desenvolveu trabalhos de pós-doutoramento no Porto com coordenação científica de **Dias**. Este trabalho está integrado na tarefa “Hopf bifurcation with groupoid symmetry” proposta no projecto.

Mais recentemente, Antoneli (Porto), **Dias e Pinto** têm estudado redes com simetria interior em que vários anéis estão acoplados através de uma célula 'buffer'. Especial interesse tem sido dado à transição de soluções de pequena amplitude para oscilações de relaxação de grande amplitude, fenómeno este comum em 'fast-slow systems'. Numericamente tal fenómeno aparece em redes simétricas e com simetria interior **[34]**.

[Padrões de sincronia de reticulados de sistemas dinâmicos] Em trabalho conjunto de **Dias** com Antoneli (São Paulo, Brasil e Porto), Golubitsky (Houston, E.U.A.) e Wang (Houston, E.U.A e Manchester, Reino Unido **[2,21,25]**), estudou-se RCAs em que as células estão dispostas em reticulado. Padrões de sincronia de sistemas de células acopladas associados a reticulados de células acopladas correspondem a subespaços vectoriais do espaço de fase total definidos através de igualdades de grupos de coordenadas de células e que são deixados invariantes pelo fluxo de qualquer reticulado de sistemas dinâmicos cuja estrutura seja consistente com a arquitectura do reticulado de RCAs. Este trabalho concentrou-se nas propriedades dos padrões sincronia, nomeadamente, a periodicidade espacial e a finitude de tais padrões. Provou-se que em RCAs com células dispostas em reticulados em que exista uma janela (porção finita do reticulado que determina todo o padrão), os padrões de sincronia são todos espacialmente periódicos e em número finito (a menos de simetria). Sai como corolário deste resultado que para os reticulados planares, todos os padrões são espacialmente periódicos em duas direcções (e em número finito) desde que os acoplamentos sejam suficientemente extensos. Algum deste trabalho tinha já sido iniciado antes da data de início do projecto. Este trabalho está integrado na tarefa “Flow invariant subspaces for lattice dynamical systems” incluída no projecto.

Dias e Golubitsky (Houston) coordenam o projecto de pós-doutoramento de Eliana **Pinho** a ser realizado no Porto e em Houston e que teve início em Outubro de 2006. **Pinho** foi integrada na equipa de investigação do projecto em Janeiro de 2007. Um dos objectivos deste projecto é a descrição geométrica e sistemática dos padrões de sincronia espacialmente periódicos em reticulados n-dimensionais. A teoria geral de redes de células acopladas de Golubitsky, Stewart e seus colaboradores mostra que um subespaço vectorial do espaço de fase total definido através de igualdades de grupos de coordenadas de células é um padrão



de sincronia se e só se a relação de equivalência definida nas células da rede de forma a que células correspondentes a coordenadas iguais estão na mesma classe satisfaz uma condição combinatorial que depende da estrutura da rede. Essa relação diz-se balanceada. **Dias e Pinho** apresentam condições necessárias e suficientes para a existência de um padrão de sincronia espacialmente periódico num reticulado, dada uma regra balanceada. As condições referem-se à decomposição de redes com acoplamentos bidireccionais e com um número finito de células e que satisfazem a mesma regra. É feita a descrição da relação entre os reticulados e essas redes finitas usando, para além da teoria geral de redes de células acopladas, ferramentas algébricas e teoria de grafos. Este trabalho deu origem ao trabalho **[36]** submetido para publicação. Este trabalho está integrado nas tarefas “Flow invariant subspaces for lattice dynamical systems” e “Lattice dynamics” incluídas no projecto.

Relativamente ao ponto 2., saliente-se:

[Ciclos heteroclínicos robustos em sistemas de células acopladas] Trabalho conjunto de **Aguiar**, Ashwin (Exeter, Reino Unido), **Dias** e Field (Houston, E.U.A.) sobre a existência de ciclos heteroclínicos robustos e assintoticamente estáveis em sistemas de células acopladas. O trabalho tem por objectivo a classificação das redes de células acopladas cujos sistemas de células que lhe estão associados admitem tais ciclos. No trabalho **[30]** submetido para publicação, descreve-se a dinâmica global que pode ocorrer em redes ‘pequenas’ e desenvolve-se uma estratégia para analisar e construir redes ‘grandes’ em termos dos módulos pequenos onde a dinâmica é bem entendida. São apresentadas condições suficientes para a existência de ciclos heteroclínicos robustos em redes de duas, três e quatro células. Os resultados são depois estendidos a redes com um qualquer número de células.

Tendo em vista o estudo de condições suficientes para existência de ciclos heteroclínicos persistentes em campos de vectores com simetria, **Abreu** em colaboração com Castro (Porto) e Labouriau (Porto) estudaram condições sobre os subgrupos de isotropia de um grupo de Lie compacto actuando em R^n e sobre a sua acção em subespaços de pontos fixos que garantem a existência de um subconjunto aberto dos campos de vectores equivariantes com ciclos heteroclínicos. Estes ciclos são persistentes dado que consistem em um conjunto finito de equilíbrios relativos, tais que a variedade estável de cada um deles intersecta transversalmente a variedade instável do seguinte, dentro de um subespaço de pontos fixos. As técnicas usadas incluíram acções polares de grupos de Lie e subespaços de Cartan. Este trabalho deu origem à pré-publicação **[29]**.

Relativamente ao ponto 3.:

[RCAs simétricas versus sistemas equivariantes: Bifurcações locais] **Dias** em colaboração com Lamb (Imperial college of London) estudou bifurcações locais (tipo estado estacionário e de Hopf) em sistemas de células acopladas associados a RCAs simétricas. Foram consideradas RCAs simétricas em que o grupo de simetrias G permuta transitivamente as células. Foi descrito o modo como a estrutura do grafo dos acoplamentos pode ser tomado em conta na análise das bifurcações a partir de um equilíbrio com simetria total G usando a teoria de representações para G (grupo finito). Focaram a análise na linearização do campo de vectores num equilíbrio com simetria total descrevendo o modo como o espectro desta linearização depende da arquitectura da rede quando os parâmetros são variados, permitindo assim analisar o modo como os valores próprios cruzam o eixo imaginário. Este trabalho



deu origem ao artigo [7]. Trabalho integrado na tarefa “Local bifurcation in symmetric coupled cell networks” incluída no projecto.

[Bifurcação de Hopf com simetria S_n] Rodrigues estudou bifurcação de Hopf (e estado estacionário) em RCAs com simetria S_n sob orientação de **Dias** tendo concluído a tese de doutoramento [27] em Novembro de 2007. Em consequência da sua tese foi publicado um artigo [10] de **Dias e Rodrigues**, está submetido para publicação o trabalho [37] e prepara-se um outro artigo que em breve será submetido para publicação. Uma parte principal da tese foi dedicada à prova da existência (e descrição da geometria e estabilidade) de ramos de soluções periódicas obtidos por bifurcação de Hopf a um parâmetro em sistemas de equações diferenciais ordinárias com simetria S_n (acção standard). Este trabalho aplica-se a sistemas de células acopladas associados a RCAs com simetria S_n (isto é, redes em que todas as células estão acopladas a todas as outras e de igual forma). Este trabalho está integrado na tarefa “Hopf bifurcation for coupled cell networks with all-to-all coupling” incluída no projecto.

[Bifurcação de Hopf com simetria diedral] Dias e Paiva [8] fazem o estudo de bifurcação de Hopf em RCAs com simetria D_n . Provou-se que em RCAs com simetria diedral, genericamente bifurcação de Hopf a um parâmetro acontece apenas para ramos de soluções periódicas com simetria maximal. Este trabalho está integrado na tarefa “Hopf bifurcation for networks of cells coupled in a ring” incluída no projecto.

[Teoria invariante e bifurcação de Hopf com simetria] No estudo de RCAs simétricas, e mais geralmente, de equações diferenciais ordinárias simétricas, é importante a descrição da expansão de Taylor até determinado grau do campo de vectores (que é simétrica pelo grupo). Esse cálculo é complicado e em muitos casos envolve o uso de programação simbólica. Nesses programas torna-se importante a existência de fórmulas para o número de polinómios homogéneos invariantes e equivariantes com componentes polinomiais homogéneas linearmente independentes grau a grau. Em trabalho conjunto de **Dias** com Antoneli (Porto) e Matthews (Nottingham) [17] desenvolveu-se fórmulas para o número de polinómios homogéneos invariantes e equivariantes com componentes polinomiais homogéneas linearmente independentes grau a grau em problemas de bifurcação de Hopf com simetria compacta. Um pouco na continuação deste trabalho, em conjunto de **Dias**, Matthews e **Rodrigues** [35] desenvolveu-se funções geradoras para o cálculo dos números de invariantes e equivariantes linearmente independentes grau a grau para problemas de bifurcação de Hopf com simetria S_n . Notar que Antoneli desenvolveu trabalhos de pós-doutoramento com **Dias** e Matthews foi um dos consultores do projecto.

[Bifurcação de Hopf em equações de reacção-difusão definidas no hemisfério] Equações de reacção-difusão definidas no hemisfério com condições de fronteira de Neumann no equador têm simetria circular. No entanto, quando estendidas a toda a esfera, a simetria natural das equações passa a ser esférica. As simetrias extra constituem uma fonte de não genericidade no tipo de bifurcações das equações. **Abreu e Dias** mostraram o efeito destas simetrias escondidas no tipo de bifurcações de Hopf que podem ocorrer, encontrando órbitas de soluções periódicas do problema definido no hemisfério a partir de soluções do problema extendido à esfera invariantes pela reflexão no equador. Este trabalho deu origem à publicação [5] e veio na sequência da tarefa “Coupled cell networks with spherical symmetry” proposta no projecto.



Dias e Fernandes em colaboração com Dionne (Otava, Canadá) estudam a existência e estabilidade de soluções estacionárias espacialmente periódicas relativamente a reticulados hexagonais de sistemas de equações em derivadas parciais com simetria euclidiana. Esse trabalho inclui o estudo de sistemas simétricos pelo grupo $D_6 + T^2$ (soma semidirecta) (acções irreduzíveis em espaços de dimensão finita). Serão estudadas possíveis aplicações destes resultados a RCAs com células dispostas em reticulado hexagonal.

O estudo de aplicações incluiu:

Pinto em colaboração com Golubitsky [11,20] estudam a aplicação da simetria na modelação da locomoção bipedal e em [15,24] **Pinto** continuou o estudo numérico de modelos de CPG para locomoção bipedal.

Krupa e **Pinto** [22] estudaram sistemas de dois neurónios acoplados. Encontra-se em preparação trabalho conjunto de **Pinto** com Krupa (New Mexico State, E.U.A.), Rubin (Pittsburg, E.U.A.), e Rotstein (Boston, E.U.A.) sobre a perda de sincronia em RCAs através de uma explosão "canard". Este tipo de fenómeno ocorre em vários tipos de modelos de osciladores, como sendo o Van der Pol, FitzHugh-Nagumo, Morris-Lecar, Hodgkin-Huxley. Este trabalho está integrado na tarefa "Coupled systems of neurons" incluída no projecto.

Encontra-se em preparação trabalho de **Pinto** com Lamb (Imperial College of London, Reino Unido) no estudo dos sinais eléctricos produzidos pelo cérebro (EEG) e pelo coração (ECG) de pacientes que sofrem de apneia do sono. A apneia é uma doença incapacitante, conduzindo em casos extremos à morte por AVC. Neste estudo usam-se técnicas de análise não-linear de séries temporais.



2. Objectivos

Objectivos do projecto

-Dada uma classe de redes de células acopladas ODE-equivalentes, definir minimalidade e descrever as redes minimais de cada classe.

-Obter um Teorema de Hopf com simetrias de grupóide.

-Caracterizar as redes quocientes de k células possíveis em reticulados planares e cúbicos de células acopladas.

-Caracterizar as arquitecturas dos reticulados (planares e cúbicos) de células acopladas para as quais todos os padrões de sincronia são espacialmente periódicos e em número finito (a menos de simetria).

-Clarificar o papel que a estrutura e a simetria das redes de células acopladas tem nas bifurcações a um parâmetro que ocorrem nos sistemas de células acopladas correspondentes.

-Provar a existência e descrever a geometria e estabilidade de ramos primários e secundários de soluções periódicas obtidas por bifurcação de Hopf em sistemas de células acopladas com simetria S_n e D_n .

-Descrever condições nos acoplamentos em redes de células acopladas com simetria esférica interna que originem bifurcações estado estacionário criando soluções estáveis.

-Aplicar a teoria geral de redes de células acopladas em termos de simetrias de grupóide no estudo de sistemas de neurónios acoplados tendo em vista encontrar regiões dos parâmetros em que ocorram fenómenos como relaxação/oscilação e “canards”.

Objectivos atingidos

Foi desenvolvido trabalho que considero importante em todas as tarefas que foram propostas no projecto. Além disso novas direcções de investigação foram iniciadas durante o projecto. Praticamente todos os objectivos inicialmente propostos foram atingidos. Resumindo:

-Dada uma classe de redes de células acopladas ODE-equivalentes, definimos minimalidade e descrevemos as redes minimais de cada classe. Trabalho desenvolvido por **Aguiar e Dias**.

-Obteve-se um Teorema de Hopf com simetria interior. Considero um passo importante em termos do estudo de bifurcações em sistemas de células acopladas. Trabalho desenvolvido por **Dias e Paiva** (em colaboração com Antoneli (Porto)).

-Desenvolveram-se condições suficientes sobre a arquitectura dos reticulados n -dimensionais de células acopladas para que os padrões de sincronia sejam espacialmente periódicos e em número finito (a menos de simetria). Além disso, descreveram-se condições necessárias e suficientes para a existência de um padrão de sincronia espacialmente periódico num reticulado, fixado um quociente que determine o padrão. Trabalho



de **Dias e Pinho** (com a colaboração de Antoneli (Porto), Golubitsky (Houston) e Wang (Manchester)).

-Desenvolveu-se já algum trabalho sobre a existência de ciclos heteroclínicos robustos e assintoticamente estáveis em sistemas de células acopladas. Trabalho de **Aguiar e Dias** (em colaboração com Ashwin (Exeter) e Field (Houston)).

-Clarificação do papel que a estrutura e a simetria das redes de células acopladas tem nas bifurcações a um parâmetro que ocorrem nos sistemas de células acopladas correspondentes. Trabalho de **Dias** (em colaboração com Lamb (Imperial College of London)).

-Provou-se a existência e descreveu-se a geometria e estabilidade de ramos primários de soluções periódicas obtidas por bifurcação de Hopf a um parâmetro em sistemas de células acopladas com simetria S_n e D_n . Trabalhos desenvolvidos por **Dias, Paiva e Rodrigues**.

-A tarefa que tinha por objectivo o estudo de redes de células acopladas com simetria esférica conduziu ao estudo de bifurcação de Hopf em equações de reacção-difusão definidas no hemisfério com condições de fronteira de Neumann no equador. Trabalho desenvolvido por **Abreu e Dias**.

-Aplicações: Estudou-se o uso da simetria na modelação da locomoção bipedal. E encontra-se em progresso o estudo de sistemas de neurónios acoplados tendo em vista encontrar regiões dos parâmetros em que ocorram os fenómenos tais como relaxação/oscilação e "canards". Trabalho de **Pinto** em colaboração com Golubitsky (Houston), Krupa (New Mexico State), Rubin (Pittsburg) e Rotstein (Boston).



3. Indicadores de realização física

(Referente aos 3 anos e 3 meses de execução do projecto)

	Unidade: em número	
A- Publicações		
Livros	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Artigos em revistas internacionais	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="8"/>
Artigos em revistas nacionais	<input type="text"/>	<input type="text" value="1"/>
B- Comunicações		
Em congressos científicos internacionais	<input type="text"/>	<input type="text" value="8"/>
Em congressos científicos nacionais	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C- Relatórios (Pré-publicações)	<input type="text"/>	<input type="text" value="9"/>
D- Organização de seminários e conferências	<input type="text"/>	<input type="text" value="8"/>
E- Formação Avançada	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Teses de Doutoramento		<input type="text" value="1"/>
Teses de Mestrado		<input type="text" value="1"/>
Outra (Pós-doutoramento)		<input type="text" value="3"/>
Outra (Provas de agregação)		<input type="text" value="1"/>
Outra (Tese de conclusão de licenciatura)		<input type="text" value="1"/>
F- Modelos	<input type="text"/>	<input type="text"/>
G- Aplicações computacionais	<input type="text"/>	<input type="text"/>
H- Instalações Piloto	<input type="text"/>	<input type="text"/>
I- Protótipos laboratoriais	<input type="text"/>	<input type="text"/>
J- Patentes	<input type="text"/>	<input type="text"/>
L- Outros (discriminar)	<input type="text"/>	<input type="text"/>



4. Publicações

Publicações em revistas internacionais

- **Artigos em revistas internacionais publicados em 2005**

[1] M.A.D. **Aguiar**, S. Castro and I. Labouriau. Dynamics near a heteroclinic network, *Nonlinearity* **18** (2005) 391-414.

[2] F. Antoneli, A.P.S. **Dias**, M. Golubitsky and Y. Wang. Patterns of Synchrony in Lattice Dynamical Systems, *Nonlinearity* **18** (2005) 2193-2209.

[3] A.P.S. **Dias** and I. Stewart. Linear Equivalence and ODE-equivalence for Coupled Cell Networks, *Nonlinearity* **18** (2005) 1003-1020.

[4] M. Misiurewicz. and A.M. **Rodrigues**. Real $3x+1$. *Proc. Amer. Math. Soc.* **133** (2005), 1109-1118.

- **Artigos em revistas internacionais publicados em 2006**

[5] S.M.C. **Abreu** and A.P.S. **Dias**. Hopf Bifurcation on Hemispheres. *Nonlinearity* **19** (2006) 553-574.

[6] M.A.D. **Aguiar**, S. Castro and I. Labouriau. Simple vector fields with complex behaviour. *Int. Jour. Bif. and Chaos* **16** (2) (2006) 369-381.

[7] A.P.S. **Dias** and J.S.W. Lamb. Local bifurcation in symmetric coupled cell networks: linear theory. *Physica D* **223** (2006) 93-108.

[8] A.P.S. **Dias** and R.C. **Paiva**. Hopf bifurcation with D_n -symmetry. *Glasgow Mathematical Journal* **48** (2006) 41-51.

[9] A.P.S. **Dias** and R.C. **Paiva**. Hopf bifurcation with S_3 -symmetry, *PortugaliÆ Mathematica* **63** (2) (2006) 127-155.

[10] A.P.S. **Dias** and A. **Rodrigues**. Secondary Bifurcations in Systems with All-to-All Coupling. Part II. *Dynamical Systems* **21** (2006) 439-463.

[11] C.A. **Pinto** and M. Golubitsky. Central pattern generators for bipedal locomotion. *J. Math. Biol.* **53** (2006) 474-489.



- **Artigos em revistas internacionais publicados em 2007**

[12] M.A.D. **Aguiar** and A.P.S. **Dias**. Minimal Coupled Cell Networks. *Nonlinearity* **20** (2007) 193-219.

[13] M.A.D. **Aguiar**, A.P.S. **Dias**, M. Golubitsky and M.C.A. Leite. Homogeneous coupled cell networks with S_3 -symmetric quotient. *Discrete and Continuous Dynamical Systems Supplement* (2007) 1-9.

[14] M. Misiurewicz and A. **Rodrigues**. Double Standard Maps. *Commun. Math. Phys.* **273** (2007) 37-65.

[15] C.M.A. **Pinto**. Numerical Simulations in Two CPG Models for Bipedal Locomotion. *Journal of Vibration and Control* **13** (2007) 1487-1503.

- **Artigo em revista internacional publicado até Maio de 2008**

[16] F.Antoneli, A.P.S. **Dias** and R.C.**Paiva**. Hopf Bifurcation in Coupled Cell Networks with Interior Symmetries. *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems* **7** (1) (2008) 220-248.

- **Artigos aceites em revistas internacionais (para publicação em 2008)**

[17] F. Antoneli, A.P.S. **Dias** and P.C. Matthews. Invariants, Equivariants and Characters in Symmetric Bifurcation Theory. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* To appear.

[18] M. Misiurewicz and A. **Rodrigues**. On the tip of the tongue. *Journal of Fixed Point Theory and Appl.*: Special Volume in the occasion of V.I. Arnold 70th Birthday To appear.



Publicações em actas de congressos científicos internacionais

- **Publicações em actas de congressos científicos internacionais (com referee) em 2005**

[19] M.A.D. **Aguiar**, S. Castro and I. Labouriau. Switching along a network. In: *EQUADIFF 2003 Proceedings of the International Conference on Differential Equations* (F. Dumortier, H. Broer, J. Mawhin, A. Vanderbauwhede, S.V. Lunel, eds.) World Scientific, 2005, 449-451.

[20] C.M. **Pinto** and M. Golubitsky. Central Pattern Generators for Bipedal Locomotion. In: *EQUADIFF 2003 Proceedings of the International Conference on Differential Equations* (F. Dumortier, H. Broer, J. Mawhin, A. Vanderbauwhede, S.V. Lunel, eds.) World Scientific, 2005, 452-457.

- **Publicação em acta de congresso científico internacional (sem referee) em 2006**

[21] F. Antoneli, A.P.S. **Dias**, M. Golubitsky and Y. Wang. Flow invariant subspaces for lattice dynamical systems. In: *Bifurcation Theory and Spatio-Temporal Pattern Formation* (W. Nagata and N.S. Namachchivaya, eds.) Fields Institute Communications, 2006, 1-8.

- **Publicação em acta de congresso científico internacional (com referee) em 2007**

[22] M. Krupa and C.M.A. Pinto. Some curious phenomena in two coupled neurons. In: *Proceedings of the International Conference on Modelling, Identification, and Control - MIC*, Austria, 2007, 387-390.

- **Publicações aceites em actas de congressos científicos internacionais (com referee)**

[23] C.S. Pereira, H. **Fernandes**, A. M. Mendonça and A. Campilho. Detection of Lung Nodule Candidates in Chest Radiographs. In: *IbPRIA 2007, 3rd Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis*, Girona, Spain.

[24] C.M.A. **Pinto**. Central Pattern Generator for Legged Locomotion - a mathematical approach. In: *Proceedings of the Workshop on Robotics and Mathematics, RoboMat07*, Coimbra, September 2007.



• Publicações aceites em actas de congressos científicos internacionais (sem referee)

[25] F. Antoneli, A.P.S. **Dias**, M. Golubitsky and Y. Wang. Synchrony in Lattice Differential Equations In: *Proceedings of Shanghai Forum on Industrial and Applied Mathematics*, Contemporary Applied Mathematics Series. (Li Tatsien, ed.) World Scientific. To appear.

[26] M. Chagoyen, H. **Fernandes**, J. M. Carazo and A. Pascual-Montano. Functional classification of genes using non-negative Independent Component Analysis. In: *Proceedings of the 14th European Conference on Mathematics for Industry (ECMI 2006)*, Madrid, Spain, July 2006. To appear.

Tese de doutoramento

[27] A. **Rodrigues**. *Bifurcation of Dynamical Systems with Symmetry*, PhD Thesis, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto 2007.

Artigo de divulgação em revista nacional

[28] S. **Abreu**, S.B.S.D. Castro e I.S. Labouriau. Flores ou Ervas Daninhas? *Boletim da Sociedade Portuguesa de Matemática* **53** (2005) 23-34.

Pré-publicações

[29] S.M.C. **Abreu**, S.B.S.D. Castro e I.S. Labouriau. Construction of Symmetric Heteroclinic Cycles. *CMUP preprint 2006-16*.

[30] M. **Aguiar**, P. Ashwin, A. **Dias**, and M. Field. Robust heteroclinic cycles in coupled cell systems: Identical cells with asymmetric inputs. *CMUP preprint 2008-6*.

[31] M.A.D. **Aguiar**, A.P.S. **Dias**, M. Golubitsky and M.C.A. Leite. Bifurcation from Quotient Coupled Cell Networks. *CMUP preprint 2007-30*.

[32] F. Antoneli, P.H. Baptistelli, A.P.S. **Dias** and M. Manoel. Invariant Theory and Reversible-Equivariant Vector Fields. *CMUP preprint 2007-26*.

[33] F. Antoneli, A.P.S. **Dias** and R.C. Paiva. Coupled Cell Networks: Hopf bifurcation and Interior Symmetry. *CMUP preprint 2007-34*.

[34] F. Antoneli, A.P.S. **Dias** and C. Pinto. Rich phenomena in a network of two rings coupled through a 'buffer' cell. *CMUP preprint 2008-17*.

[35] A.P.S. **Dias**, P.C. Matthews and A. **Rodrigues**. Generating functions for Hopf bifurcation with S_n -symmetry. *CMUP preprint 2008-16*.

[36] A.P.S. **Dias** and E.M. **Pinho**. Spatially Periodic Patterns of Synchrony in Lattice Networks. *CMUP preprint 2008-12*

[37] A.P.S. **Dias** and A. **Rodrigues**. Hopf bifurcation with S_n symmetry. *CMUP preprint 2008-9*.



5. RELATÓRIO DE EXECUÇÃO MATERIAL

Durante o período a que se refere este relatório, os vários membros da equipa participaram em conferências e realizaram algumas visitas académicas. A equipa recebeu a visita de vários consultores.

Eliana **Pinho** foi integrada na equipa em Janeiro de 2007.

Uma descrição com algum detalhe das actividades segue abaixo.

Visitas académicas realizadas

Visitas académicas realizadas em 2005

Imperial College , Reino Unido, em Abril e 4-9 de Setembro de 2005, visita de **Pinto**.

Observação: Visita de Pinto com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

Universidade de Oxford , Reino Unido, Julho de 2005 , visita de **Pinto**.

Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Universidade de Cambridge, Reino Unido.

De 14 de Setembro a 16 de Dezembro de 2005 visita de **Dias**.

De 16 de Setembro a 16 de Novembro de 2005 visita de **Rodrigues**.

Visitas académicas realizadas em 2006

Visita ao Departamento de Matemática do Imperial College of London, Reino Unido, durante o período de Janeiro a Março de 2006 (realizada por **Dias**).

Visitas académicas realizadas em 2007

Visita ao CIRM, Marseille Luminy, France, durante o período de 4 a 23 de Junho de 2007 (realizada por **Dias** e **Pinho**).

Visita académica realizada até Maio de 2008

Visita ao Departamento de Matemática da Universidade de Houston, E.U.A., em Março/Abril de 2008 (realizada por **Pinho**).



Participações em conferências

Participações em conferências em 2005

"The Visegrad Conference on Dynamical Systems", Praga, Julho de 2005 (participou **Rodrigues**).

Título da palestra realizada por **Rodrigues**: "Secondary Bifurcations in Systems with S_N -Symmetry".

An Isaac Newton Institute Satellite Meeting on "Theoretical Aspects of Pattern Formation", Universidade de Surrey, Reino Unido, 19-23 de Setembro de 2005 (participação de **Dias e Rodrigues**).

Observação: Participação de Rodrigues com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

Conferência "Theory and Applications of Coupled Cell Networks", Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Cambridge, Reino Unido, Setembro 26—30, 2005 (participação de **Abreu, Aguiar, Pinto, Dias e Rodrigues**).

Palestras e posters apresentados nesta conferência pelos membros da equipa:

(a) "Symmetric chaos in a local codimension two bifurcation" (palestra apresentada por **Abreu**);

(b) "Minimal coupled cell networks" (palestra apresentada por **Aguiar**);

(c) "Linear and ODE-equivalence for coupled cell networks" (palestra apresentada por **Dias**);

(d) "Two central pattern generators for bipedal locomotion" (poster apresentado por **Pinto**);

(e) "Secondary bifurcations in systems with All-to-All coupling. Part II" (poster apresentado por **Rodrigues**).

Workshop on "Pattern Formation in Fluid Mechanics", Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Universidade de Cambridge, Reino Unido, 2-16 de Dezembro de 2005 (participação de **Dias**).

Participações em conferências em 2006

"MME - 06 Mathematical Methods in Engineering International Symposium", Cankaya University, Ankara-Turquia, 27-29 Abril de 2006 (participou **Pinto**).

Título da palestra realizada por **Pinto**: "Numerical Results in CPG Models for Biped Locomotion".

"Workshop on Ergodic Theory and Dynamical Systems", Szlarska Poreba 2006, Polónia, 19-23 de Junho de 2006 (participou **Rodrigues**).

Conferência "Views on ODEs", Universidade de Aveiro 21-24 Junho de 2006 (participaram **Abreu, Aguiar e Paiva**).

Título da palestra realizada por **Abreu**: "Hopf bifurcation on Hemispheres".

Título da palestra realizada por **Aguiar**: "Quotient Coupled Cell Networks".

Título da palestra realizada por **Paiva**: "Hopf bifurcation with D_n -symmetry".

Observação: Participações de Abreu, Aguiar e Paiva com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.



"SIGMAC'06 - Third Workshop in Symmetries in Graphs, Maps and Complexes", Universidade de Aveiro, 17-21 Julho de 2006 (participou **Aguiar**).

Título da palestra realizada por **Aguiar**: "Minimal Coupled Cell Networks".

Observação: Participações de Aguiar com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

IFAC FDA 2006, Workshop on "Fractional Differentiation and Its Applications", ISEP, Porto, Portugal, July 19-21 Julho de 2006 (participou **Pinto**).

"IEEE - International Conference on Computational Cybernetics", IEEE-ICCC 2006, Tallinn, Estonia, 20-22 de Agosto de 2006 (participou **Pinto**).

Título da palestra realizada por **Pinto**: "Two coupled neurons".

Workshop on "Applications of Computational Intelligence", ISEC, Coimbra, Portugal, 22 de Novembro de 2006 (participou **Pinto**).

Título da palestra realizada por **Pinto**: "Bipedal Locomotion".

"Workshop on Conformal Structures", Gottingen, Alemanha, 4-8 de Dezembro de 2006 (participou **Rodrigues**).

Título da palestra realizada por **Rodrigues**: "Double Standard Maps".

Participações em conferências em 2007

"Workshop on Multifractal dimension and low dimensional systems", Warwick, United Kingdom, January 8-12, 2007 (participou **Rodrigues**).

Título da palestra realizada por **Rodrigues**: Double Standard Maps.

Observação: Participação de Rodrigues com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

"Workshop on Connections for Women: Dynamical Systems", Mathematical Sciences Research Institute, Berkeley, United States of America, January 18-19, 2007 (participou **Dias**).

Título da palestra realizada por **Dias**: Coupled Cell Networks: ODE-Equivalence, Minimality and Quotients.

"Introductory Workshop on Dynamical Systems with Emphasis on Extended Systems", Mathematical Sciences Research Institute, Berkeley, United States of America, January 22-26, 2007 (participou **Dias**).

"XIV Jornadas de Classificação e Análise de Dados, JOCLAD 2007", Instituto Superior de Engenharia do Porto, February 8-9 2007 (participou **Pinto**).

"The 26th IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control, MIC 2007", Innsbruck, Austria, February 12-14 2007 (participou **Pinto**).

Título da palestra realizada por **Pinto**: Curious Phenomena in Two Coupled Neurons.

"SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (DS07)", Snowbird, Utah, United States of America, May 28-June 1, 2007 (participaram **Aguiar** e **Dias**).

Título da palestra realizada por **Aguiar**: Dynamics near robust heteroclinic phenomena.

Título da palestra realizada por **Dias**: Quotient coupled cell networks.

Observação: Participação de Aguiar com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.



`Workshop on Bifurcations and Symmetries in Genetics and Neuroscience & Statistical Properties of Dynamical Systems", CIRM, Marseille Luminy, France, June 11-12, 2007 (participaram **Dias** e **Pinho**).

Título da palestra realizada por **Dias**: Coupled cell networks: linear equivalence and quotients.

`Dynamics Days Europe 2007", Loughborough University, Loughborough, United Kingdom, de 9 a 13 Julho de 2007 (participaram **Aguiar**, **Dias** e **Pinho**).

Título da palestra realizada por **Aguiar**: Quotient coupled cell networks.

Título da palestra realizada por **Dias**: Local bifurcation theory in symmetric and interior symmetric coupled cell networks.

Observação: Participação de Pinho com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

"6th International Congress on Industrial and Applied Mathematics - ICIAM 07", Zurich, Switzerland (July) (participaram **Aguiar** e **Pinho**).

Título da palestra realizada por **Aguiar**: Coupled Cell Networks - Minimality and Quotients.

Observação: Participação de Aguiar com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

"International Conference on Difference Equations", IST, Universidade Técnica de Lisboa, Julho 2007 (participou **Rodrigues**)

Título da palestra realizada por **Rodrigues**: Hopf Bifurcation with S_N Symmetry.

`Equadiff", Vienna University of Technology, Agosto 5-11, 2007 (participaram **Dias** e **Pinto**).

Título da palestra realizada por **Dias**: Group theory, synchrony-breaking bifurcations and coupled cell networks.

"Workshop on Robotics and Mathematics, RoboMat07", Coimbra, Portugal, September 17-19, 2007 (participou **Pinto**)

Título da palestra realizada por **Pinto**: Central Pattern Generator for Legged Locomotion - a mathematical approach.

"Workshop Descobrir Matemática com a Música", Porto, Portugal, 20 de Outubro, 2007 (participou **Pinto**).

Workshop "As tecnologias ao serviço do ensino", Instituto Superior de Engenharia do Porto, 4 de Dezembro 2007 (participou **Abreu** e **Pinto**).

Workshop "A Matemática dos engenheiros", Instituto Superior de Engenharia do Porto, 14 de Dezembro, 2007 (participou **Abreu**).

"The Future of Mathematics Education in Europe", Lisbon, December 17-18, 2007 (participou **Dias**).

Participação em conferências até Maio de 2008

"Transferir e Valorizar o Conhecimento Académico: Como Levar a Ideia ao Mercado?", Auditório da Fundação Instituto Politécnico do Porto (FIPP), 12 de Fevereiro de 2008 (participou **Pinto**).

Workshop "O que se sabe e o que não se sabe sobre Educação Matemática", Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 28 de Março de 2008 (participou **Dias**).



Participações em escolas

Participações em escola em 2006

Second Summer School on "Mathematics in Biology and Medicine", Instituto Gulbenkian de Ciência, Oeiras, 11-15 de Setembro de 2006 (participaram **Dias, Fernandes e Pinto**).

Título da palestra realizada por **Pinto**: "*Two Central Pattern Generators for Bipedal Locomotion*".

Participações em escolas em 2007

Short course on "Data Mining with R: learning by case studies" (participou **Pinto**).

"CIM A Short Course on Flat Surfaces", Coimbra, February 12, 2007 (participaram **Paiva e Rodrigues**).

Observação: participação de Paiva com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

"School on Analysis and Control of Complex Networks", Milan, Italy, May 24-26, 2007 (participou **Paiva**).

Observação: participação de Paiva com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

"CIM Short Course on Trends in Theoretical Epidemiology", Coimbra, May 25, 2007 (participou **Pinto**).

EPSA2007, "CIM Workshop and Advanced School on Eigenvalue Problems, Software and Applications", Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, July 27-29, 2007 (participou **Pinto**).

Escola de Verão de Matemática da SPM 2007, September 3-6 2007, Universidade de Évora, Portugal (participou **Pinto**).

"CIM Short Course on Mathematics and Games", Coimbra, October 13, 2007 (participou **Pinto**).

Seminary on Fractional Variational Principles and their Applications. October 28 2007, ISEP (participou **Pinto**).

Mini-curso

Mini-curso integrado no Seminário de Sistemas Dinâmicos do Centro de Matemática da Universidade do Porto. Título do mini-curso: "Sistemas de células acopladas. Parte I: Ciclos heteroclínicos robustos. Parte II : Padrões de Sincronia em Reticulados". Datas: 23 de Maio e 6 de Junho de 2008 (realizado por **Aguar, Antoneli, Dias e Pinho**).



Outros seminários

Outros seminários realizados em 2005

Seminário de Sistemas Dinâmicos do Centro de Matemática da Universidade do Porto, em 18 de Março de 2005.

Título do seminário: "Padrões de sincronia em reticulados de sistemas dinâmicos" (realizado por **Dias**).

Seminário dado no Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, University of Cambridge, Reino Unido, em 15 de Novembro de 2005.

Título do seminário: "Hopf bifurcation on hemispheres" (realizado por **Dias**).

Outros seminários realizados em 2006

Seminário em "Dynamics and Symmetry" do Departamento de Matemática do Imperial College of London, Reino Unido, em 3 de Março de 2006.

Título do seminário: "Invariants, equivariants and characters in symmetric bifurcation theory" (realizado por **Dias**).

Seminário em "Engenharia Matemática" do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, em 5 de Abril de 2006.

Título do seminário: "Padrões de sincronia em reticulados de sistemas dinâmicos" (realizado por **Dias**).

Seminário em "Sistemas Dinâmicos" do Centro de Matemática da Universidade do Porto, em 21 de Abril de 2006.

Título do seminário: "Bifurcação de Hopf com simetria D_n " (realizado por **Paiva**).

Seminário em "AG Dynamische Systeme" da Universidade de Hamburgo, Alemanha, em 12 de Dezembro de 2006.

Título do seminário: "Double Standard Maps" (realizado por **Rodrigues**).

Seminário integrado no "Postgraduate Seminar" da Universidade de Gottingen, Alemanha, em 14 de Dezembro de 2006.

Título do seminário: "Hopf Bifurcation with S_4 -Symmetry" (realizado por **Rodrigues**).

Outros seminários realizados em 2007

Seminário em "Sistemas Dinâmicos" do Centro de Matemática da Universidade do Porto, em 26 de Janeiro de 2007.

Título do seminário: "Hopf Bifurcation with S_4 Symmetry" (realizado por **Rodrigues**).

Seminário em "Engenharia Matemática" do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Instituto Politécnico do Porto, em 16 de Fevereiro de 2007.

Título do seminário: "Caos simétrico num problema de bifurcação com a simetria do quadrado" (realizado por **Abreu**).

Seminário do Centro de Matemática da Universidade do Porto, em 23 de Março de 2007.

Título do seminário: "Double Standard Maps" (realizado por **Rodrigues**).



Outros seminários realizados até Maio de 2008

Seminário do grupo de sistemas dinâmicos IUPUI Department of Mathematical Sciences USA, em 20 de Março de 2008.

Título do seminário: Hopf Bifurcations with S_N Symmetry I (realizado por **Rodrigues**).

Seminário do grupo de sistemas dinâmicos IUPUI Department of Mathematical Sciences USA, em 27 de Março de 2008.

Título do seminário: Hopf Bifurcations with S_N Symmetry II (realizado por **Rodrigues**).

Seminário integrado no Programa Inter-Universitário de Doutoramento Coimbra/Porto, em 27 de Março de 2008.

Título do seminário: Coupled cell networks (realizado por **Dias**).

Consultores

Consultores em 2006

Visita de Conceição Leite (Purdue, E.U.A.) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto (CMUP) e Departamento de Matemática Pura integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Período da visita: 29 de Junho a 20 de Julho de 2006.

Deu um seminário integrado nos seminários de "Sistemas Dinâmicos" do Centro de Matemática da Universidade do Porto em 7 de Julho de 2006.

Título do seminário: "Networks of three-identical coupled systems".

Observação: visita com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

Visita de Paul Matthews (Nottingham, Reino Unido) ao CMUP e Departamento de Matemática Pura integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Período da visita: 12-21 de Julho de 2006. Deu um seminário integrado nos seminários de "Sistemas Dinâmicos" do Centro de Matemática da Universidade do Porto em 14 de Julho de 2006. Título do seminário: "Automating symmetry-breaking calculations".

Observação: visita com verba do projecto POCI/MAT/60154/2004.

Consultores em 2007

Visita de Patrícia Baptistelli (São Paulo, Brasil) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto e Departamento de Matemática Pura, integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Visita em Março de 2007.

Visita de Míriam Manoel (São Paulo, Brasil) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto e Departamento de Matemática Pura, integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Visita em Março de 2007.

Visita de Michael Field (Houston, E.U.A.) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto e Departamento de Matemática Pura, integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Visita em Julho de 2007. Participou nas provas de agregação de **Dias**.



Visita de André Vanderbauwhede (Ghent, Bélgica) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto e Departamento de Matemática Pura, integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Período da visita: 12-16 de Novembro de 2007.

Participou nas provas de doutoramento de **Rodrigues**. Deu um seminário integrado nos seminários de “Sistemas Dinâmicos” do Centro de Matemática da Universidade do Porto em 13 de Novembro de 2007.

Título do seminário: “Lyapunov-Schmidt revisited”.

Visita de Paul Matthews (Nottingham, Reino Unido) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto e Departamento de Matemática Pura, integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Período da visita: 13-17 Novembro de 2007. Participou nas provas de doutoramento de **Rodrigues**.

Visita de Yunjiao Wang (Manchester, Reino Unido) ao Centro de Matemática da Universidade do Porto e Departamento de Matemática Pura, integrada no Projecto POCI/MAT/60154/2004. Período da visita: 4-8 de Dezembro de 2007.

Resumo das actividades que tiveram o apoio financeiro do projecto POCI/MAT/60154/2004

Aqui apresentamos um pequeno resumo das actividades que tiveram o apoio financeiro do projecto POCI/MAT/60154/2004. Estas actividades foram assinaladas na descrição detalhada apresentada acima.

Visitas académicas:

Visita de **Pinto** ao Imperial College of London, Reino Unido, 4-9 de Setembro, 2005.

Participações em conferências:

Participação de **Rodrigues** em conferência, Surrey, Reino Unido, 19-23 de Setembro, 2005.

Participação de **Abreu, Aguiar e Paiva** em conferência, Aveiro, 21-24 de Junho, 2006.

Participação de **Aguiar** em conferência em Aveiro, 17-21 de Julho, 2006.

Participação de **Rodrigues** em conferência em Warwick, Reino Unido, 8-12 de Janeiro, 2007.

Participação de **Aguiar** em conferência em Snowbird, E.U.A., 28 de Maio a 1 de Junho, 2007.

Participação de **Pinho** em conferência em Loughborough, Reino Unido, 9-13 de Julho, 2007.

Participação de **Aguiar** em conferência em Zurique, Suíça, 16-20 de Julho, 2007.

Participações em escolas:

Participação de **Fernandes** em escola, Oeiras, 11-15 de Setembro, 2006.

Participação de **Paiva** em curso, Coimbra, 12 de Fevereiro, 2007.

Participação de **Paiva** em escola, Milão, Itália, 24-26 Maio, 2007.



Consultores:

Maria Leite (Purdue, E.U.A.), 29 de junho-20 de Julho, 2006.

Paul Matthews (Nottingham, Reino Unido), 12-21 de Julho, 2006.

Orientações de tese de conclusão de licenciatura

Concluída

Pinto orientou o aluno Vicente J. Martinez Fernandez da Licenciatura de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Título da tese: "Oscilador de van der Pol".

Concluída em Fevereiro de 2008.

Em andamento

Pinto orienta a aluna Alice Maria de Pinho Moreira da Licenciatura de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Título da tese: "A dinâmica de um sistema de dois circuitos de Chua acoplados".

Pinto orienta a aluna Carolina Salles Fernandes da Licenciatura de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Título da tese: "A dinâmica do circuito de Chua: sistema forçado e sistema não-forçado".

Orientações de mestrado

Concluída

Aguiar orientou o aluno Alexandre Rodrigues do Mestrado em Matemática - Fundamentos e Aplicações (do Departamento de Matemática Pura da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto).

Título da tese: "Ciclos e redes heteroclínicas em sistemas de equações diferenciais com simetria". Concluído em Julho de 2006.

Em andamento

Abreu orienta a tese de Mestrado em Matemática Educação, da Licenciada Carla Pinto Cerqueira Pereira, cujo título provisório é "Bifurcação de Hopf".



Orientações de doutoramento

Concluída

Dias orientou **Rodrigues**. Doutoramento em Matemática – Departamento de Matemática Pura da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Título da tese: “Bifurcation of Dynamical Systems with Symmetry”.

Concluído em Novembro de 2007.

Bolsa financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referência da bolsa: SFRH/BD/18631/2004.

Em andamento

Aguiar co-orienta em conjunto com Isabel Labouriau (FCUP, Porto) o doutoramento em Matemática de Alexandre Artur Pinho Rodrigues (no Departamento de Matemática Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto) desde Maio de 2007.

Bolsa financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referência da bolsa: SFRH / BD / 28936 / 2006.

Dias orienta **Paiva**. Doutoramento em Matemática – Departamento de Matemática Pura da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Título da tese: “Hopf Bifurcation in Coupled Cell Networks”.

Data prevista de conclusão: 2008.

Bolsa financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referência da bolsa: SFRH/BD/30001/2006.

Coordenação científica de pós doutoramento

● Concluídas

Abreu usufruiu de bolsa de pós-doutoramento financiada pelo Centro de Matemática da Universidade do Porto durante o ano de 2005.

Título do projecto: “Simetrias em problemas de bifurcação e redes de células acopladas”.

Coordenação científica: Castro (FEP, Porto), **Dias** e Labouriau (FCUP, Porto).

Dias coordenou os trabalhos científicos de Fernando Antoneli.

Título do projecto: "Hopf Bifurcation with interior symmetry".

Período: Setembro de 2006-Março de 2007.

Bolsa financiada pelo Centro de Matemática da Universidade do Porto.



- **Em andamento**

Dias coordena em conjunto com Golubitsky (Houston, E.U.A.) os trabalhos científicos de **Pinho** desde Outubro de 2006.

Título do projecto: "Patterns in lattice differential equations".

Bolsa financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referência da bolsa: SFRH/BPD/29975.

Dias coordena os trabalhos científicos de Antoneli desde Abril de 2008.

Título do projecto: "Hopf Bifurcation with interior symmetry".

Bolsa financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referência da bolsa: SFRH/BPD/34534/2006.

Doutoramento

- **Concluído**

Rodrigues terminou o Doutoramento em Matemática, Departamento de Matemática Pura, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em Novembro de 2007.

- **Em andamento**

Fernandes iniciou doutoramento (PhD Program in Computational Biology) no Instituto Gulbenkian Ciência, Oeiras em 2007. Tem bolsa financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referência da Bolsa: SFRH/BI/33191/2007

Data de início do programa: 17/09/2007.

Agregação

Dias prestou provas de agregação em Matemática, Departamento de Matemática Pura, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, em Julho de 2007.

Licença Sabática

Dias usufruiu de licença sabática durante o ano lectivo 2005/2006.

No período de 14 de Setembro a 16 de Dezembro visitou o Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Universidade de Cambridge, Reino Unido. Esta visita teve o apoio financeiro do Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences.

Durante os meses de Janeiro, Fevereiro e Março de 2006, visitou o Departamento de Matemática do Imperial College of London, Reino Unido. Durante esse período usufruiu de Bolsa de Licença Sabática financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia com referência BSAB / 537 / 2005.



Projecto

Pinto foi Coordenadora de um Projecto Candidato ao Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Investigação, Edição 2007 do IPP.

Título do projecto: "Circuito eléctrico de van der Pol".

Verba atribuída: 1600 euros

Organizações de conferências e seminários

Organizações de conferências

- **Organizações em 2006**

Pinto co-organizou a "Semana da Ciência e Tecnologia 2007 no ISEP", 23 e 24 de Novembro de 2006.

- **Organizações em 2007**

Pinto co-organizou a "Semana da Ciência e Tecnologia 2007 no ISEP", 22, 23 e 24 de Novembro de 2007.

Dias co-organizou a conferência internacional "The Future of Mathematics Education in Europe", Lisboa, 17-18 de Dezembro, 2007. Organising Committee: Coordinator: Maria João Gouveia (Lisboa); Ana Paula Dias (Porto), António Domingos (Lisboa), Ana Moura (Lisboa), Jaime Carvalho e Silva (Coimbra).

Pinto organizou o Workshop "A Matemática dos Engenheiros", ISEP, 14 de Dezembro, 2007.

- **Organizações em 2008**

Aguiar co-organizou o "IJUP 08 - 1º Encontro de Jovens Investigadores da U.Porto", 20 a 22 de Fevereiro de 2008, Fac. de Arq. do Porto.

Pinto co-organizou o "The 65th European Study Group with Industry 2008", 21-24 de Abril, 2008, CMUP, Porto.

- **Organizações em 2008 (em andamento)**

Organização conjunta de **Dias** com Peter Ashwin (Exeter, UK) e Jeroen Lamb (Imperial College of London, UK) do mini-simpósio *Coupled Cell Networks* integrado no "5th European Congress of Mathematics Amsterdam", 14-18 de Julho, 2008, Amesterdão, Holanda.

Organização conjunta de **Pinto** e António Mendes Lopes (Faculdade de Engenharia, Porto) do mini-simpósio *Mathematical Models in Engineering* integrado na "2nd Conference on Nonlinear Science and Complexity", 28-31 de Julho, 2008, ISEP, Porto, Portugal.



Organizações de seminários

Abreu organizou o Seminário de “Sistemas Dinâmicos” do Centro de Matemática da Universidade do Porto em 2005/2006.

Pinto organizou o Seminário em “Engenharia Matemática” do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) em 2005/2006 e 2006/2007.





União Europeia – Fundos Estruturais



Governo da República Portuguesa