

# GESTÃO DE ZONAS LAGUNARES COSTEIRAS: PROJECTO DITTY

Pedro Duarte - *Faculdade de Ciência e Tecnologia, UFP*  
Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais (CEMAS)  
Professor Associado | E-mail: pduarte@ufp.pt

António Pereira - *Faculdade de Ciência e Tecnologia, UFP*  
Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais (CEMAS)  
Doutorando | E-mail: apereira@ufp.pt

Cláudia Martins - *Faculdade de Ciência e Tecnologia, UFP*  
Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais (CEMAS)  
Mestranda | E-mail: cm@ufp.pt

Maria João Guerreiro - *Faculdade de Ciência e Tecnologia, UFP*  
Centro de Modelação e Análise de Sistemas Ambientais (CEMAS)  
Professora Auxiliar | E-mail: mariajoao@ufp.pt

## ABSTRACT

The main objective of the DITTY (Development of an Information Technology Tool for the Management of European Southern Lagoons under the influence of river-basin runoff) project, financed by the European Union, is the development of information technology tools for the management of southern European lagunary systems. In Portugal, the ecosystem under study is Ria Formosa (Algarve). The objective of this paper is to discuss the importance of the project and to present the work developed in CEMAS within its scope.

## RESUMO

O objectivo principal do projecto DITTY (“Development of an Information Technology Tool for the Management of European Southern Lagoons under the influence of river-basin runoff”), financiado pela União Europeia, é o desenvolvimento de ferramentas informáticas para a gestão de zonas lagunares costeiras do sul da Europa. No caso português, o ecossistema em estudo é a Ria Formosa (Algarve). O objectivo deste texto é discutir a importância do projecto DITTY e apresentar o trabalho desenvolvido no CEMAS no âmbito do mesmo.

## 1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras representam uma pequena parte da área e do volume dos oceanos. No entanto, a sua importância como interface entre a terra e o mar é enorme. Mais de 60% da população humana vive a menos de 60 km do mar. No caso da população portuguesa a percentagem é ainda maior. As zonas costeiras garantem uma série de serviços essenciais à humanidade: São das zonas mais produtivas dos oceanos, fornecendo alimentos através da pesca e da aquacultura; são o receptor final de grande parte da poluição produzida pelo Homem, que atinge o mar através de fontes pontuais e de fontes difusas; servem de protecção contra a subida do nível do mar, resultado do aquecimento global; proporcionam locais de lazer; são a interface dos transportes marítimos. O usufruto de todos os serviços referidos reflecte-se numa grande pressão sobre os recursos naturais das zonas costeiras, principalmente no caso dos sistemas lagunares, como a Ria Formosa, e dos estuários, que são mais procurados pelo Homem pelas suas condições

**130** de abrigo natural e de grande produtividade biológica. Estes ecossistemas funcionam como um mecanismo de convergência de todas as acções levadas a cabo pelo Homem nas bacias hidrográficas adjacentes, sendo por isso necessário considerar as mesmas na sua gestão, no espírito da Directiva Quadro da Água (2000/60/EC).

Em função do exposto, a gestão sustentável das zonas costeiras reflecte-se de grande importância, tendo sido objecto nos últimos anos de um grande número de conferências internacionais, como a “International Conference for the Sustainable Management of Coastal Ecosystems”, realizada na Universidade Fernando Pessoa (UFP) em 1999 (Duarte, 2002; Duarte e Dame, 2002), e de projectos de investigação financiados pela União Europeia, como o DITTY (“Development of an Information Technology Tool for the Management of European Southern Lagoons under the influence of river-basin runoff”).

## 2. O PROJECTO DITTY

O projecto DITTY (DITTY, em linha), foi financiado no âmbito do V Programa Quadro (Energia Ambiente e Desenvolvimento Sustentável), por um período de três anos, com início em Fevereiro de 2003. O consórcio do projecto engloba universidades e institutos de seis países: Portugal (Instituto de Investigação das Pescas e do Mar (IPIMAR) e UFP), Espanha (Universidade de Múrcia), França (Universidade Montpellier I, Universidade de Montpellier II e o Instituto Francês para a Investigação e Exploração do Mar), Bélgica (Instituto Real Belga de Ciências Naturais), Itália (Universidade de Parma e Universidade de Siena) e Grécia (Universidade do Mar Egeu). Além destas instituições, existem ainda os chamados “end-users” por cada país, ou seja, as instituições que deverão utilizar os resultados do projecto na sua actividade prática. No caso português trata-se do Parque Natural da Ria Formosa (PNRF), na dependência do Instituto para a Conservação da Natureza.

O principal objectivo do DITTY é o desenvolvimento de bases científicas para a gestão racional dos recursos de um conjunto de ecossistemas lagunares do Sul da Europa, considerando os impactes ambientais resultantes da agricultura, urbanismo, turismo, pesca, aquacultura e outras actividades económicas. Os ecossistemas em estudo são: Ria Formosa (Portugal), Mar Menor (Espanha), Lagoa de Thau (França), Sacca di Goro (Itália) e o Golfo de Gera (Grécia) (Figura 1).

A Ria Formosa (Figura 2) é um sistema de canais e sapais separado do oceano por um conjunto de ilhas arenosas, que se estende ao longo de 50 km do litoral Algarvio ocupando uma área de cerca de 10500 ha. É um ecossistema de grande importância, pois serve de local de desova e crescimento de um grande número de espécies marinhas, as suas zonas pouco profundas de espraiado de maré servem de áreas de cultivo de amêijoas e ostras, contem tanques de piscicultura e apresenta um potencial turístico muito grande. Cerca



**132** Os primeiros três “pacotes” servem para organizar informação indispensável para desenvolver, implementar e calibrar os modelos matemáticos (pacote 4). Estes servirão para sintetizar o conhecimento existente sobre os sistemas em estudo, para efectuar comparações entre os mesmos (pacote 5), para analisar possíveis cenários de gestão/exploração (pacote 6) e para ajudar a construir a base de conhecimento do SAD (pacote 8). O SAD utilizará ainda informação sócio-económica (pacote 7) na respectiva base de conhecimento e deverá servir de apoio aos “end-users” do projecto no seu trabalho de gestão dos ecossistemas em estudo.

Os primeiros dois “pacotes” já foram concluídos. Cada instituição procurou obter o maior número possível de dados sobre aspectos ambientais e socio-económicos dos ecossistemas lagunares em estudo e respectivas bacias hidrográficas, tendo os mesmos sido organizados numa base de dados disponível através da Internet para os investigadores do DITTY. Relativamente aos SIG, ao longo deste ano será possível aceder aos mesmos através da Internet. No caso da Ria Formosa, o CEMAS tem vindo a desenvolver um SIG com toda a informação recolhida pelo IPIMAR, pelo PNRF, pelo Instituto Hidrográfico da Marinha (IH) e por outras instituições oficiais. Tanto as bases de dados como os SIG são ferramentas indispensáveis para o desenvolvimento e implementação dos Modelos Matemáticos. Os restantes pacotes estão a ser desenvolvidos para todos os ecossistemas. Ao longo do projecto ocorreram/ocorrerão reuniões em cinco dos seis países participantes – França, Itália, Grécia, Espanha e Portugal – de modo a que todos os investigadores possam tomar contacto com os ecossistemas em estudo e se ajudem mutuamente na prossecução de cada dos pacotes de trabalho em questão envolvidos. Já ocorreram reuniões em França e Itália, estando a próxima agendada para a Grécia em Março de 2004.

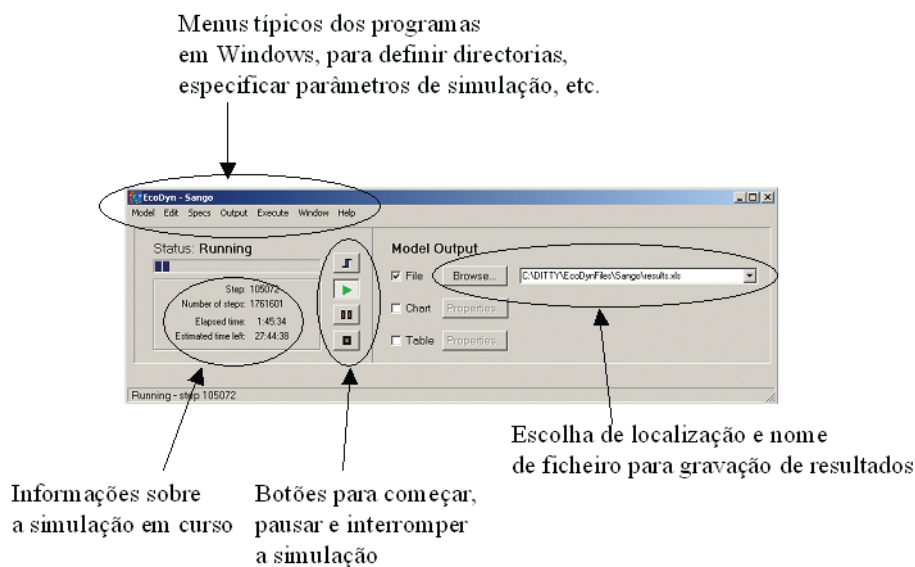
### **3. TRABALHO DESENVOLVIDO PELO CEMAS NO ÂMBITO DO DITTY**

No âmbito da sua participação no DITTY, os autores do presente trabalho têm vindo a trabalhar num SIG para a Ria Formosa, em conjunto com os técnicos do PNRF, a desenvolver um software de modelação matemática designado por EcoDyn, a implementar um modelo ecológico para a Ria Formosa e um modelo hidrológico para as bacias hidrográficas adjacentes utilizando o programa SWAT (SWAT, em linha), tendo a colaboração de investigadores do IPIMAR para definir alguns dos parâmetros e variáveis a incluir nos modelos, um sistema de calibração automático do modelo matemático e um SAD baseado em Agentes Inteligentes, com a colaboração de investigadores do LIACC – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

#### **SIG DA RIA FORMOSA**

O SIG implementado inclui informação da Ria Formosa e das bacias hidrográficas adjacentes: Mapa CORINE de uso do solo, variáveis climatológicas

e hidrológicas das bacias hidrográficas, batimetria e tipos de sedimentos da Ria Formosa. Na Figura 3 apresenta-se o mapa de usos do solo como exemplo.



**Figura 3** – Mapa de usos do solo.

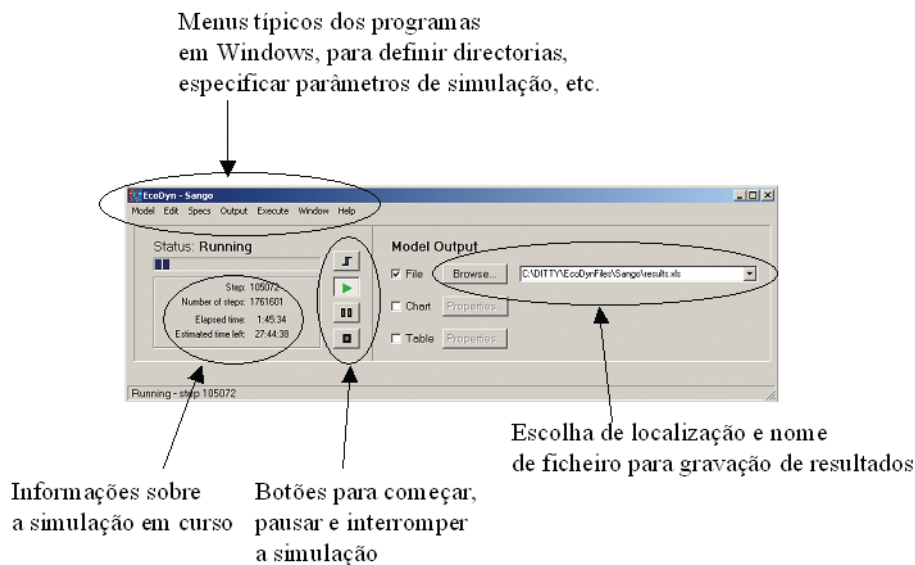
O SIG tem servido para quantificar inúmeros aspectos da Ria Formosa - as áreas cobertas por diferentes tipos de sedimentos, os volumes e as áreas da Ria em função da altura da maré, etc. Estes são aspectos que têm implicações na biogeoquímica do ecossistema, e por conseguinte no modelo ecológico.

## EcoDYN

O EcoDyn é um software desenvolvido para simular processos físicos e biogeoquímicos em ecossistemas aquáticos (Duarte e Pereira, in prep). É uma aplicação orientada por objectos, escrita em C++, com um interface gráfico em ambiente Windows que permite a comunicação entre o utilizador e a aplicação e a comunicação entre os diversos objectos que são utilizados para simular processos físicos e processos biogeoquímicos (Figura 4). Os processos simulados pelos diferentes objectos do EcoDyn incluem:

- i. Hidrodinâmica dos ecossistemas aquáticos – velocidades e direcções das correntes
- ii. Termodinâmica – balanços energéticos entre a água e a atmosfera e temperatura da água
- iii. Biogeoquímicos – Dinâmica temporal e espacial de diferentes espécies químicas e biológicas.

O EcoDyn permite visualizar graficamente os resultados, com recurso às potencialidades gráficas do MatLab com o qual pode trocar dados, e gravar os resultados em ficheiro para posterior utilização. Para mais detalhes sobre o EcoDyn ver Pereira et al. (in press a).

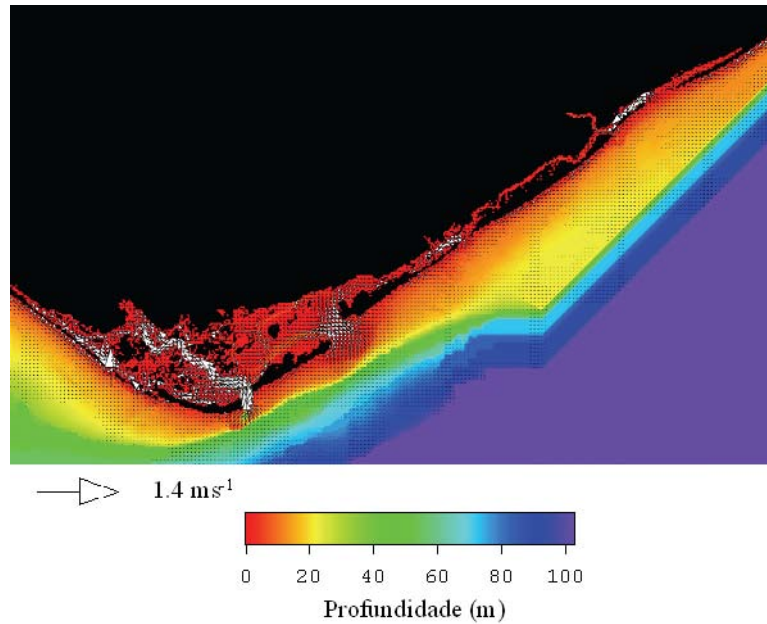


**Figura 4** – Interface gráfico do EcoDyn.

## MODELO MATEMÁTICO DA RIA FORMOSA E RESPECTIVAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

O modelo matemático da Ria Formosa está a ser implementado no EcoDyn. A estrutura do modelo é semelhante à descrita em Duarte et al. (2003; 2004) para a baía de Sango na China. O modelo inclui os processos hidrodinâmicos, responsáveis pelo transporte da água e substâncias nela existentes, e os processos biogeoquímicos, responsáveis pelo consumo, produção e reciclagem dos nutrientes essenciais à vida. A Ria Formosa é representada por uma malha rectangular de diferenças finitas, de 470 colunas por 282 linhas, com uma resolução espacial de 100 m. Na Figura 5 apresentam-se dois dos tipos de resultados que se pode obter com o modelo – o campo de velocidades da corrente na Ria Formosa e zona costeira próxima num dado momento de maré e as respectivas profundidades.

Paralelamente ao modelo da Ria, está a ser implementado um modelo para as bacias hidrográficas das ribeiras e rios que drenam para a Ria Formosa utilizando o SWAT (Soil & Water Assessment Tool) (SWAT, em linha). Os objectivos deste modelo são a simulação dos caudais das linhas de água e do transporte de sedimentos e nutrientes para a Ria Formosa, a partir de dados meteorológicos e de dados relativos ao uso do solo. Quando o modelo estiver implementado e validado, será possível utilizá-lo para prever de que modo alterações nos usos dos solos podem afectar as descargas de nutrientes e outras substâncias na Ria Formosa. O modelo matemático da Ria poderá então ser utilizado para prever de que modo as referidas descargas podem provocar mudanças significativas no ecossistema costeiro, nomeadamente no que se refere à qualidade da água.



**Figura 5** – Ria Formosa - Campo de velocidades e profundidades durante a enchente.

### SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

Uma das maiores dificuldades da modelação matemática de processos aquáticos reside na calibração dos modelos, isto é, na afinação do grande número de parâmetros utilizados, de modo a que as previsões do modelo sejam significativamente próximas dos resultados observados. Estas dificuldades são acrescidas no caso do modelo ecológico utilizado neste trabalho, devido à elevada resolução espacial do mesmo (ver acima) que implica muito tempo de cálculo. A calibração é um processo iterativo em que o utilizador do modelo vai realizando simulações e afinando os parâmetros em função dos resultados obtidos e do seu conhecimento sobre o sistema em estudo, e sobre a influência dos diferentes parâmetros nas variáveis representadas pelo modelo.

Em função do exposto, está a ser desenvolvido no CEMAS um sistema de calibração automático baseado em Agentes Inteligentes. Um agente pode definir-se como um programa de computador especializado em atingir um conjunto de objectivos (Novrig, 1995; Weiss, 1999; Wooldridge, 2002; Reis, 2003). A metodologia a utilizar encontra-se descrita em Pereira et al. (in press a) e consta de um processo iterativo, ao longo do qual o agente calibrador começa por “estudar” as relações entre os parâmetros do modelo e as variáveis, através de uma análise de sensibilidade sistemática, passando de seguida a realizar simulações com o EcoDyn, avaliar os resultados através da comparação estatística dos valores previstos pelo modelo com os valores observados experimentalmente, alterar os valores dos parâmetros, realizar mais simulações e assim por diante, até atingir determinados critérios de qualidade quanto às previsões obtidas (Pereira et al., in press a).

## 136 SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

O SAD é também apoiado no conceito de Agentes Inteligentes. Uma das metodologias a seguir será a de desenvolver vários agentes que representem diferentes grupos de pessoas com interesses diversos na Ria Formosa – aquacultores, agentes de turismo, pescadores, etc. e procurar simular algumas das suas interações com o ecossistema, avaliar as respectivas consequências com o modelo matemático e utilizar o SAD para apoiar os responsáveis pelo PNRF a tomar decisões (Pereira et al., in press b).

### 4. CONCLUSÕES

O DITTY representa uma oportunidade importante para a UFP participar num projecto científico de grande envergadura à escala europeia e com um grande potencial de aplicação prática na gestão de um dos mais importantes ecossistemas costeiros de Portugal – a Ria Formosa.

O CEMAS tem conseguido cumprir com rigor com os seus compromissos no caderno de encargos do projecto. O trabalho desenvolvido até ao presente é inovador e junta duas áreas de conhecimento que têm sofrido uma evolução muito rápida nos últimos anos – a modelação matemática de ecossistemas e a inteligência artificial. A colaboração com colegas da FEUP tem estimulado bastante os trabalhos realizados.

O DITTY pode servir de oportunidade à realização de Monografias, Teses de Mestrado e Doutoramento, donde a importância da sua divulgação junto da comunidade académica da UFP.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DITTY. [Em linha]. Disponível em <http://www.dittyproject.org/>. [Consultado 14/3/2004].
- Duarte, P e R.F. Dame (Ed.) (2002). Sustainable Management of Coastal Ecosystems. *In: Aquatic Ecology*, 36 (1).
- Duarte, P. (2002) (ed.). *Actas da International Conference on Sustainable Management of Coastal Ecosystems*. Porto, Edições Universidade Fernando Pessoa.
- Duarte, P., Meneses, R., Hawkins, A.J.S., Zhu, M., Fang, J. e Grant, J. (2003). Mathematical modelling to assess the carrying capacity for multi-species culture within coastal water. *In: Ecological Modelling*, 168, pp. 109-143.
- Duarte, P, Hawkins, A.J.S. e Pereira, A. (in press). How does estimation of environmental carrying capacity for bivalve culture depend upon spatial and temporal scales? *In: Dame, R. e Olenin, S. (Ed.) The comparative role of suspension-feeders in aquatic systems*. (NATO ARW in Nida, Lithuania, 3-9 October, 2003). Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Scientific Publishers.
- EU Water Framework Directive (2000/60/EC). *In: Jornal Oficial* L 327.
- Falcão, M. (1997). *Dinâmica dos nutrientes na Ria Formosa: interação da laguna com as suas interfaces na reciclagem do azoto, fósforo e sílica*. Tese de Doutoramento em Ciências do Mar pela Universidade do Algarve.

- Mudge, M.S. e Bebianno, M.J. (1997). Sewage contamination following an accidental spillage in the Ria Formosa, Portugal. *In: Marine Pollution Bulletin*, 34(3), pp. 163-170.
- Norvig, P. e Russel, S.J. (1995). *Artificial Intelligence: a modern approach*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- Pereira, A., Duarte, P e Reis, L.P . (in press a). Agent-based ecological model calibration – on the edge of a new approach. International Conference on Knowledge Engineering and Decision Support, ISEP, Porto, 21-23 Julho de 2004.
- Pereira, A., Duarte, P e Reis, L.P . (in press b). Agent-based simulation of ecological models. Agent Based Simulation 5, Universidade de Lisboa, Lisboa, 3-5 Maio de 2004.
- Reis, L.P. (2003). *Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na gestão Universitária e no Futebol Robótico*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SWAT. [Em linha]. Disponível em <http://www.brc.tamus.edu/swat/swat2000src.html>. [Consultado 14/3/2004].
- Weiss, G. (1999) (ed.). *Multi-Agent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. MIT Press.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multi-Agent Systems*. John Wiley & Sons, Ltd.