

ESIG2001
CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE SIG DE BASE PARA UM
SISTEMA DE APOIO À DECISÃO EM ÁREAS PROTEGIDAS
(PROJECTO PROBIO)

Autores: Ferreira, H, Botequilha Leitão, A., Grueau, C., Muge, F.(*) and Ahern, J.(**)

Instituição: (*) CVRM – Geosystems Center of Instituto Superior Técnico

Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

Tel: +351.21.8417247; Telefax: +351.21.8417442;

(**) Department of Landscape Architecture and Regional Planning

University of Massachusetts at Amherst

Hills North, MA 01003, USA

E-mail do primeiro autor: helena.ferreira@ist.utl.pt

Palavras-chave: SIG, indicadores de biodiversidade, áreas protegidas, Parque Natural Sintra-Cascais, planeamento, ecologia da paisagem; sistemas multi-agentes, estatística espacial, sistemas de apoio à decisão;

Resumo:

Nesta comunicação discutem-se as questões associadas à construção e utilização do SIG no âmbito do projecto PROBIO (Sistema de Apoio à Decisão para o Planeamento e a Gestão da Biodiversidade em Áreas Protegidas).

Neste projecto de investigação está a ser desenvolvida uma metodologia de planeamento e gestão da biodiversidade enquadrada por princípios da Ecologia da Paisagem, a qual será operacionalizada por ferramentas informáticas – Sistema Espacial de Apoio à Decisão (SEAD), de onde se destaca o papel dos Sistemas Multi-Agentes (SMA). Serão desenvolvidos cenários de desenvolvimento. O objectivo é avaliar estratégias de desenvolvimento em Áreas Protegidas quanto aos seus impactes sobre a biodiversidade. Para tal serão desenvolvidos indicadores de biodiversidade com base em métricas da paisagem derivadas da ecologia espacial. A área de estudo é o Parque Natural de Sintra-Cascais.

Tendo em conta a natureza espacial da informação e das questões a abordar, foi construído um SIG para servir de suporte às diferentes tarefas a desenvolver no projecto. Além das funções tradicionais de manipulação de informação georreferenciada, o *software* de SIG do PROBIO servirá também de interface entre os *softwares* utilizados na modelação com SMA e no cálculo de métricas.

Todos os componentes do SEAD (métricas da paisagem, cenários e SMA) serão integrados numa plataforma SIG.

1. Introdução:

A Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade aponta como primeira opção estratégica “Promover a investigação científica, o conhecimento e a monitorização de espécies, habitats e ecossistemas” (MAOT, 2001). O projecto de investigação Sistema de Apoio à Decisão para o Planeamento e a Gestão das Áreas Protegidas (PROBIO) (FCT-MCT Ref^o . FCT/POCTI/MGS/36580/99), o qual está em curso (Dezembro de 2000 a Novembro de 2002), insere-se neste contexto. A área de estudo escolhida para o PROBIO foi o Parque Natural de Sintra-Cascais (PNSC) (figura 1). Esta escolha reflecte o facto do PNSC constituir um bom caso de estudo em virtude dos valores naturais e culturais que contém, assim como das fortes pressões a que está sujeito.

Do PROBIO resultarão meios (metodologia e ferramenta informática) de avaliar alternativas de gestão de Áreas Protegidas em termos da sua eficácia para a conservação da biodiversidade. Esta avaliação incidirá nos impactes potenciais de cada alternativa sobre a biodiversidade e na compatibilização de objectivos/actividades concorrentes que cada uma delas permite. A ferramenta informática desenvolvida para apoiar esta avaliação terá por base uma plataforma SIG e designar-se-á por Sistema Espacial de Apoio à Decisão (SEAD). As metodologias desenvolvidas no PROBIO e o SEAD poderão vir a auxiliar os técnicos das Áreas Protegidas nas tarefas de planeamento e gestão das mesmas.

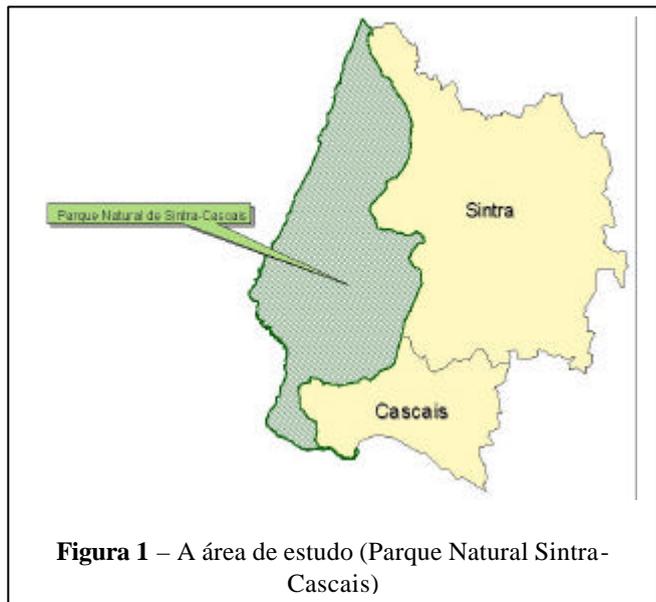


Figura 1 – A área de estudo (Parque Natural Sintra-Cascais)

2. Metodologia

No PROBIO conjugam-se duas grandes componentes: a Ecologia da Paisagem e os Sistemas Multi-Agentes (SMA).

A Ecologia da Paisagem é a disciplina científica que enquadra o PROBIO, a partir da qual está a ser desenvolvida a sua metodologia-base de planeamento e gestão da biodiversidade.

A Ecologia da Paisagem (EP) aborda os sistemas ecológicos de uma forma integrada, considerando as actividades humanas como parte do sistema. Está vocacionada para proporcionar uma base científica para o ordenamento sustentável do território (Botequilha Leitão e Ahern, em revisão). A EP tem um carácter espacial e utiliza a paisagem¹ como objecto e escala de estudo. A EP concentra-se no estudo da relação entre o padrão espacial (estrutura da paisagem) e os processos ecológicos (funções da paisagem). As ferramentas utilizadas em EP são estatísticos denominados métricas que permitem a caracterização, modelação e avaliação da estrutura da paisagem. Exemplos de métricas são: número de manchas², número de classes de manchas, índice de forma (razão entre o perímetro e a área das manchas), contraste de orla das manchas, etc. A partir do conhecimento da estrutura da paisagem (através das métricas), é possível inferir para várias funções da paisagem por exemplo da abundância, distribuição e localização dos referidos processos (McGarigal & Marks, 1995; Botequilha Leitão et al, 2001).

Os SMA provém da inteligência artificial distribuída (Doran, 2001). Um SMA é um sistema complexo onde entidades computacionais individualizadas e autónomas (agentes) interagem entre si e com o ambiente (Doran, 2001; Ferrant & Deffuant, 1998). Cada agente é descrito por 2 características: o seu estado e as suas regras de comportamento (ou seja, as regras que descrevem a forma como o agente interage com os outros agentes e com o ambiente) (Ferrant & Deffuant, 1998; Bousquet et al, 2001). Representam entidades reais (ex: agricultores). O ambiente é pelo seu lado também uma entidade computacional, embora não seja um agente pois não reage a estímulos (ex: precipitação) (Ferrant & Deffuant, 1998).

Os SMA tem vindo a afirmar-se na simulação de sistemas complexos. São ferramentas poderosas para modelar sistemas em que vários actores utilizam um recurso distribuído no

¹ Porção de território composta por um conjunto de (eco)sistemas interactuantes.

² Mancha é entendida como porção da paisagem que apresenta uniformidade em termos de uso do solo ou de vegetação.

espaço e de uso múltiplo. Os SMA possuem a capacidade de simular as interações entre as componentes socio-económicas e as componentes naturais do sistema (Bousquet et al, 2001). Por estas razões, os SMA adaptam-se muito bem a questões de ordenamento do território e gestão de recursos naturais, nas quais são cada vez mais utilizados (Doran, 2001; Ferrant & Deffuant, 1998; Bousquet et al, 2001). As aplicações práticas dos SMA nestas áreas vão desde os modelos da dinâmica do recurso (que podem ser aplicados à sua gestão), a sistemas de suporte à decisão e à mediação entre actores que utilizam um dado recurso (em processos colaborativos ou resolução de conflitos), entre outras aplicações possíveis (Ferrant & Deffuant, 1998; Bousquet et al, 2001).

No âmbito do PROBIO serão construídos cenários de desenvolvimento para a área de estudo, os quais reflectirão as consequências de diferentes estratégias de gestão. Estes cenários serão o produto de várias componentes, nomeadamente da modelação com SMA, da participação do público e do contributo da equipa do PROBIO.

A área de estudo será modelada com base nos SMA. Os agentes corresponderão aos actores com actividade ou jurisdição na região do PNSC. Por outro lado o recurso em disputa é o próprio espaço, que diferentes agentes procuram ocupar com diferentes actividades. A informação que suportará o modelo será proveniente dos próprios actores locais e de outra informação relevante (cartográfica e alfanumérica).

Os cenários de desenvolvimento serão avaliados por indicadores construídos com base nas métricas da paisagem.

Será proposta uma estrutura para um sistema de monitorização com base nas metodologias e ferramentas desenvolvidas.

Uma vez que as metodologias, ferramentas (incluindo os *softwares* de SMA e para cálculo das métricas) e informação utilizadas têm um carácter espacial, é necessária a utilização de um SIG como plataforma para as actividades desenvolvidas no PROBIO. No entanto, para além da componente de modelação, o SIG é uma ferramenta essencial para a realização de outras tarefas do projecto, desempenhando diferentes funções.

3. O *software* utilizado no PROBIO e a sua interacção com a plataforma SIG

No PROBIO a plataforma SIG utilizada é o ArcView GIS 3.2 e suas extensões, com destaque para a Spatial Analyst.

No cálculo das métricas será utilizado o *software* FRAGSTATS (McGarigal e Marks, 1995). Existem diversos *softwares* para realizar a análise ecológica da paisagem. A selecção do FRAGSTATS baseou-se numa revisão exaustiva dos *softwares* disponíveis (Botequilha Leitão, 1998), como sejam o APACK (Xin, Y et al), o ClaraT - Fractal Analysis Package for Windows (Milne & Matyk, 1996), o RULE (Gardner, 1998), o Patch Analyst (Elfie, P.C. et al, 1999) ou o LEAP II (Perera, et al, 1997). Além de ter sido considerado por Botequilha Leitão (1998) como o *software* mais adequado, verifica-se na literatura da especialidade que o FRAGSTATS é largamente utilizado em estudos de EP.

A versão do FRAGSTATS para trabalhar informação de base raster utiliza como input informação geográfica em diferentes formatos (SVF, ASCII, binário 8-bit ou 16-bit, ERDAS e IDRISI). O FRAGSTATS pode trabalhar também sobre dados em formato vectorial produzidos com ARC/INFO. Os outputs do FRAGSTATS são ficheiros que podem servir de input a um *software* SIG, podendo desta forma ser visualizados e manipulados como qualquer outra informação georreferenciada.

Existem ainda alguns *softwares* criados com base no FRAGSTATS e que poderão a vir ser utilizados no PROBIO. É o caso do FRAGSTATS ARC, que é o resultado da integração do FRAGSTATS com o ARC/INFO, e também da versão para ArcView cujo lançamento se encontra previsto para breve, ambos da responsabilidade da ESRI. Os *softwares* Patch Analyst e LEAP II, acima mencionados, também utilizam o FRAGSTATS como *software* de base.

O SMA encontra-se em fase de implementação na plataforma CORMAS - Common-Pool Resources and Multi-Agent Systems., desenvolvida no Cirad, em Montpellier (França). Esta plataforma opera com a linguagem de programação Smalltalk da VisualWorks. Neste tipo de *software*, a informação proveniente do *software* SIG não é incorporada directamente. Por este motivo, foram escritas algumas rotinas de conversão dos formatos para intercâmbio de dados entre os dois *softwares*.

4. O papel do SIG nas diferentes fases e tarefas do PROBIO

O SIG do PROBIO é utilizado:

- Para a gestão da informação: organização, armazenamento, manipulação e visualização;
- Para a produção de informação derivada;
- Na análise espacial e temporal da situação de referência e dos cenários produzidos;
- Na modelação e produção de cenários;
- Na monitorização;
- Como plataforma de integração para o SEAD - o protótipo de SEAD vai assentar numa plataforma de SIG;

4.1. Gestão de informação e produção de informação derivada

A informação de base disponível foi recolhida e organizada da seguinte forma:

- *Componentes biofísicos*: altimetria, geologia, hidrografia, solos, biodiversidade (por exemplo localização de fauna/ flora e habitats), etc;
- *Componentes “humanos”*: Uso do solo, limites administrativos e de propriedade, ordenamento (Planos Directores Municipais e Plano de Ordenamento do PNSC), património cultural, demografia, vias de comunicação, cadastro, etc;
- *Fontes de stress*: Caça, actividades recreativas, incêndios;
- *Informação complementar*: ortofotomapas e cartas militares da área do PNSC;

No SIG do PROBIO inclui-se também a cartografia produzida pela equipa do projecto a partir dos dados de base. Foram produzidos temas como sejam o modelo digital do terreno, declives e exposições, de grande importância para a caracterização da área de estudo e como base para posteriores análises. Foi ainda produzida a delimitação das unidades de paisagem³ (UP) na área de estudo (figura 2), assim como outra informação referida mais à frente (mapas de métricas, mapas de habitat).

O PROBIO possui informação de base não cartográfica, como sejam por exemplo fotografias e dados alfanuméricos, os quais complementam o SIG.

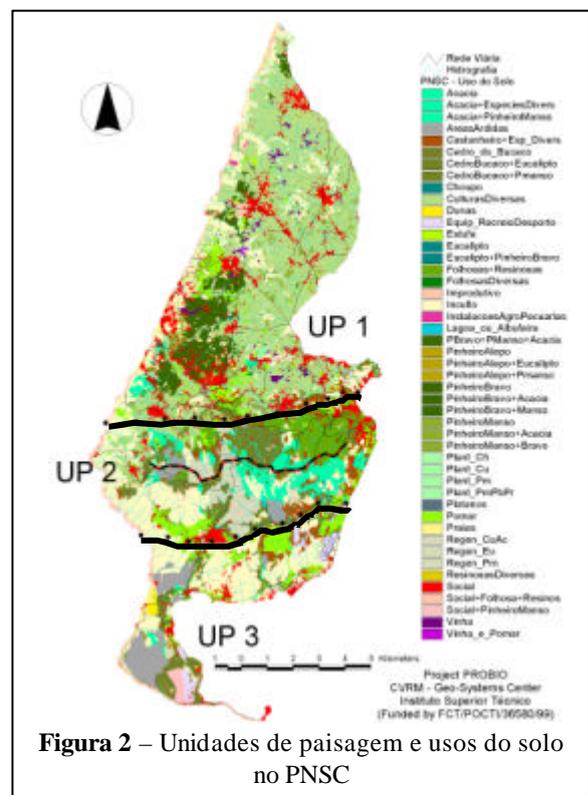


Figura 2 – Unidades de paisagem e usos do solo no PNSC

³ Sub-divisões da área de estudo, as quais apresentam uma homogeneidade interna e uma clara diferença de características entre si.

Grande parte da informação foi cedida ao PROBIO pelo PNSC, com o qual o projecto estabeleceu um protocolo de colaboração. Outras fontes foram, entre outras, a Direcção-Geral de Florestas e a Área Metropolitana de Lisboa.

4.2. Análise espacial e temporal

Após a recolha da informação foi levada a cabo a análise das características da área de estudo e sua evolução. A caracterização da situação de referência e das tendências de evolução são a base para as tarefas subsequentes relacionadas com a modelação.

Para a caracterização da área de estudo analisaram-se os diversos temas da informação de base. Verificou-se a existência, na área do PNSC, de três unidades de paisagem (UP) de características diferentes e com homogeneidade interna, nomeadamente: UP1 – região planáltica de São João das Lampas; UP2 – Serra de Sintra; UP3 – região a sul da Serra de Sintra (figura 2). Na tabela 1 encontra-se um excerto da síntese das características biofísicas das unidades de paisagem.

Tabela 1 – Caracterização das unidades de paisagem do PNSC (excerto)

Unidades de Paisagem	Clima	Topografia	Geologia	Solos	Hidrologia
UP 1 – Plataforma de S. João das Lampas	Mesotémico	50 – 150 m Planície suave: declive < 7%, com vales abruptos Falésias costeiras (a Norte da Praia das Maças);	Zona calcárea. Complexo de Benfica; Zonas de areias.	Solos arenosos; Solos agrícolas.	Linhas de água E-W; Bacias hidrográficas totalmente dentro do PNSC, com excepção da Rib ^a de Colares (a mais importante da região)
UP 2 – Serra de Sintra	Temperado (mais fresco em altitude), húmido; Diferenças entre as vertentes Sul e Norte (mais seco e quente na Sul)	100 – 500 m Declives (d) > 16% Vales com 16% < d < 25% e > 25% Linha de costa com falésias elevadas	Maciço eruptivo de Sintra.	Solos com características adequadas a usos florestais.	Muitas linhas de água de pequena dimensão (densidade elevada de linha de água), a maioria temporárias (secas no Verão).
UP 3 – Plataforma de Cascais	Mesotémico, Verões secos.	100-200 m: Declives moderados a abruptos. 50-100 m: zones planas ou colinas suaves	Zona calcárea. Zonas de areias.	Solos arenosos; Pequena percentagem de solos com potencial agrícola	Linhas de água de pequena dimensão Ribeira dos Marmeleiros é a mais importante;

Além da análise efectuada aos elementos biofísicos e sócio-económicos da região, a consistência da divisão da área do PNSC nestas unidades de paisagem foi testada calculando métricas da paisagem com recurso ao FRAGSTATS (McGarigal and Marks, 1995) sobre a carta de uso do solo. Os valores calculados das diferentes métricas podem ser utilizados para criar mapas de métricas (usando o *software* SIG), os quais são de enorme interesse para a interpretação dos resultados. As diferentes características das UPs foram evidenciadas pelos resultados obtidos por este processo (tabela 2) e ainda através do cálculo da densidade de vias de comunicação (caminhos e estradas) e de linhas de água para cada uma das unidades de

paisagem, com base nas áreas das UPs e comprimentos das estruturas lineares calculados pelo *software* SIG.

Tabela 2 – Análise ecológica das unidades de paisagem do PNSC (excerto)

Unidades de Paisagem	Uso do Solo Predominante (Matriz)	Usos do solo secundários – manchas significativas	Análise Ecológica da Paisagem
UP 1 – Plataforma de S. João das Lampas	Agricultura mista (ocupa 50% da paisagem);	Grandes manchas mistas de Pinheiro (em solos de areias) (in sandy soils) (20%); Matos(15%) em vales escarpados	90% das classes de uso do solo; Perturbações: Urbanização Fragmentação de manchas de pinhal;
UP 2 – Serra de Sintra	Manchas de espécies florestais folhosas, coníferas, e mistas (33.5%) Vertente Norte– maior concentração destas espécies Vertente Sul – dominam as espécies exóticas (12%),	Matos (21%), Regeneração (9%), Áreas ardidas (3%),	30% das classes de uso do solo; Perturbações: Propagação de espécies exóticas; Fogos frequentes na vertente Sul
UP 3 – Plataforma de Cascais	Áreas expectantes (51%): matos (36%) + Áreas ardidas(13%) + áreas em regeneração (2%)	Agricultura (13%), Recreio (5%)	30% das classes de uso do solo; Perturbações: Fogos, urbanização, recreio

Foi ainda realizada a análise das tendências de evolução da área de estudo. Para tal recorreu-se a séries temporais de dados, sempre que essa informação se encontrava disponível. As séries temporais revestem-se de extrema utilidade para a análise das tendências de alteração dos usos do solo, ao longo do tempo. Um exemplo pertinente relativo ao PNSC refere-se à evolução da área afecta a uso urbano. Nesta série temporal consideraram-se dados históricos e também as áreas urbanizáveis de acordo com os Planos de Ordenamento do Território da área de estudo. Através desta série é possível retirar diversa informação: a localização das áreas em expansão, quais as áreas que têm o maior grau de expansão e qual a evolução da proporção de área do PNSC ocupada por usos urbanos, entre outras.

Além destas abordagens para a análise da área de estudo, encontra-se presentemente a ser desenvolvida uma outra, que constituirá o cerne do PROBIO. Estão a ser desenvolvidos estudos faunísticos com base na revisão de literatura existente sobre metodologias para selecção de espécies indicadoras. Estes estudos serão complementados com trabalho conjunto com os técnicos do PNSC e especialistas nas espécies seleccionadas. O objectivo é a construção de um mapa de habitat para cada espécie com base na carta de uso do solo e em matrizes onde se associam as classes de uso do solo e de vegetação com os habitats das espécies seleccionadas. Os indicadores de biodiversidade (construídos com base em métricas) serão calculados com base na estrutura da paisagem analisada a partir dos mapas de habitat das espécies seleccionadas. Determinadas funções ecológicas como o movimento de animais, propagação de perturbações, entre outras serão modeladas com base nos indicadores estruturais. Este procedimento permite analisar a estrutura da paisagem tal como esta é percebida pelas espécies animais. Assim, a análise de séries temporais de mapas de habitats permitirá avaliar a magnitude dos impactes sobre a biodiversidade causados pelas transformações do uso do solo verificadas num período de tempo.

4.3. Modelação espacial – construção de cenários de desenvolvimento

Pretende-se construir cenários de desenvolvimento que possam contribuir para a discussão dos resultados da adopção de diferentes estratégias de gestão para o PNSC. A avaliação destes cenários através dos indicadores propostos poderá dar indicações para definir estratégias para a conservação da biodiversidade no PNSC. A construção dos cenários seguirá o esquema da figura 3.

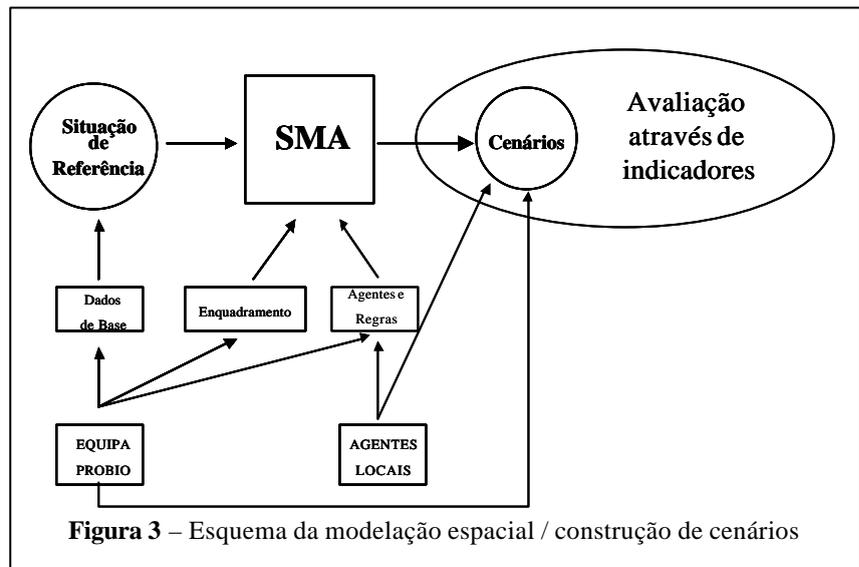


Figura 3 – Esquema da modelação espacial / construção de cenários

A equipa do PROBIO irá definir o enquadramento dos cenários, a partir do conjunto de informação de diferentes proveniências. Trata-se de definir quais os vectores estratégicos de desenvolvimento provável para a área do PNSC.

É de realçar o contributo dos actores locais quer na definição das regras de comportamento dos agentes que os representam no modelo, quer directamente na construção dos cenários. A informação está a ser recolhida junto dos actores locais, em reuniões individuais e em workshops organizados pelo PROBIO. Nestes workshops os actores trabalham em grupo produzindo informação relevante sobre os problemas, pontos fortes, potencialidades e ameaças do PNSC, e participando na construção e avaliação dos cenários de desenvolvimento.

4.4. Monitorização

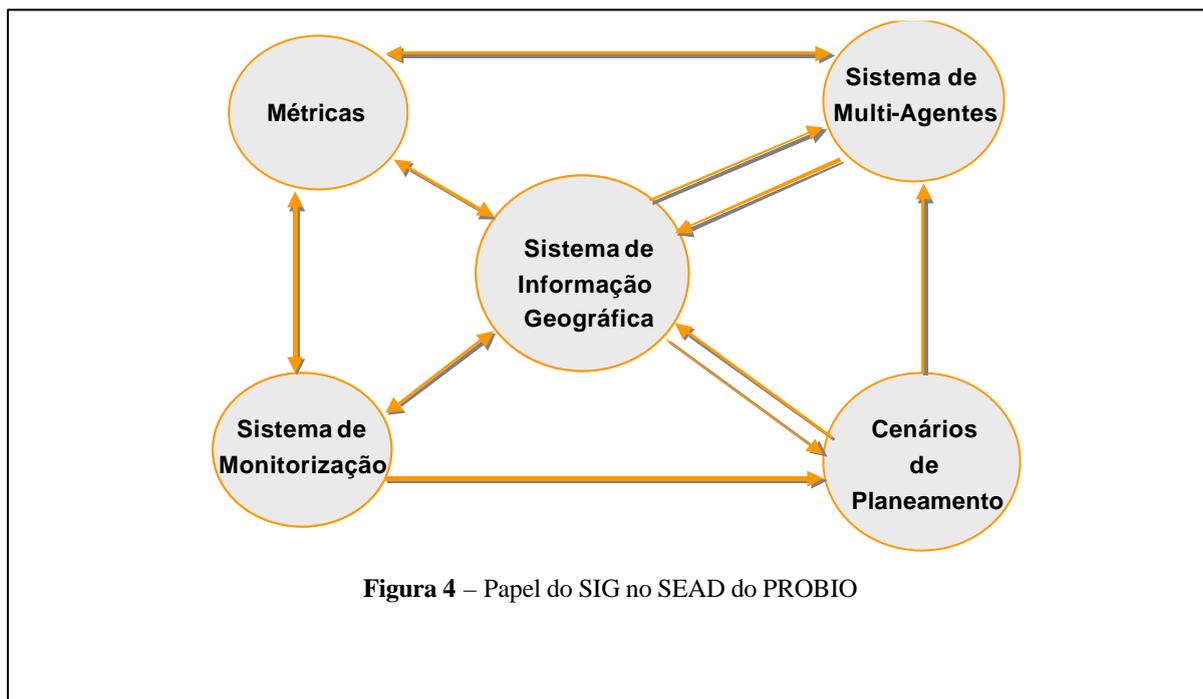
O PROBIO produzirá indicadores e recomendações para um futuro sistema de monitorização que poderá vir a ser desenvolvido para o PNSC.

A monitorização poderá permitir, a partir de dados de base actualizados (em especial os referentes aos usos do solo) caracterizar o estado do território, com possibilidade de avaliar a evolução do mesmo ao longo do tempo por comparação com a situação de referência. Esta avaliação poderá ter por base a metodologia e os indicadores definidos para a construção dos cenários.

Uma possível fonte de dados para monitorização é a detecção remota. Esta é uma fonte adequada aos objectivos da monitorização pela periodicidade de actualização. Por outro lado, a escala de análise (o PNSC) é compatível com a resolução destas imagens.

4.5. O SIG no Sistema de Apoio à Decisão (SEAD)

O SEAD assentará numa plataforma SIG e integrará os elementos cuja interrelação se encontra sintetizada na figura 4.



5. Questões levantadas pela utilização de informação geográfica no âmbito do PROBIO

Foram detectadas diversas deficiências na informação de base recolhida, maioritariamente relacionados com a cartografia de uso do solo:

- desactualização da carta de uso do solo do PNSC (a qual tem por base um vóo de 1990);
- classificação de usos do solo utilizada pouco detalhada. A carta resultou do aperfeiçoamento de uma cartografia inserida no âmbito de um trabalho específico, não tendo sido criada logo de início com a finalidade de servir como carta de uso do solo do PNSC. Assim a cartografia não apresenta o detalhe desejável, nomeadamente no que diz respeito ao tipo de vegetação.
- incongruência entre cartografias de uso do solo de diferentes origens.
- Informação com diferentes referências temporais, o que dificulta o cruzamento de temas. É o caso da cartografia do cadastro, a qual foi criada na década de '50, quando comparada com a cartografia de uso do solo;
- Informação sobre metadados pouco sistematizada;

É de referir o entrave que constitui a inexistência de informação cadastral actualizada e em formato vectorial disponível. De facto nem o PNSC nem as Câmaras Municipais de Cascais e Sintra dispõem deste tipo de informação, a qual está na posse do IPCC, disponível para aquisição por valores pouco compatíveis com os orçamentos quer dos projectos de investigação quer do próprio PNSC. O PROBIO poderia incorporar esta informação (nomeadamente ao nível da estrutura fundiária) no desenvolvimento de cenários e estratégias de gestão.

6. Conclusão:

O SIG é uma ferramenta imprescindível ao PROBIO nas suas diferentes fases, dadas as suas diversas potencialidades. A possibilidade de visualizar os padrões estruturais das variáveis

ecológicas (através de mapas de métricas) assume grande relevância para a análise ecológica. Estes padrões que se tornam evidentes pela sua visualização no SIG seriam dificilmente detectáveis se os dados estivessem sob a forma alfanumérica. É ainda de destacar a importância do SIG para melhorar a comunicação de conceitos complexos através de imagens simplificadas.

No futuro desenvolvimento do PROBIO a integração dos diferentes componentes informáticos entre si (FRAGSTATS e SMA) e na plataforma SIG será uma área essencial. Muito embora já exista trabalho desenvolvido nesta área que pode ser usado como base no PROBIO, verifica-se que ainda existe muito a fazer na ligação entre as várias plataformas. Actualmente há uma grande perda de desempenho computacional associada a estas interfaces, pelo que é uma questão onde são necessários novos desenvolvimentos.

Agradecimentos

Agradece-se à Fundação para a Ciência e Tecnologia do Ministério da Ciência e Tecnologia o financiamento do projecto PROBIO no âmbito do programa POCTI (Ref^o. FCT/POCTI/MGS/36580/99) e da investigação desenvolvida por Cédric Grueau através da bolsa de doutoramento BD/19982/99 do programa PRAXIS XXI.

Agradece-se ainda ao Parque Natural de Sintra-Cascais pela cedência de grande parte da informação de base utilizada no PROBIO e também por toda a colaboração.

Bibliografia

Ahern, J. (1999). *Spatial concepts, planning strategies and future scenarios: a framework method for integrating landscape ecology and landscape planning*. In: J. Klopatek and R. Gardner (Editors). *Landscape ecological analysis: issues and applications*, Springer-Verlag Inc. New York, pp. 175 – 201.

Botequilha Leitão, A. (1998). *The role of Spatial Statistics in Landscape Ecological Planning. Landscape metrics: some considerations on theoretical issues, applications, and available software*. Contribution to the research component on spatial statistics of the Mill River Watershed Study, Springfield, MA. Unpublished internal report. Department of Landscape Architecture and Regional Planning, University of Massachusetts at Amherst. Amherst, MA. USA.

Botequilha Leitão, A., Grueau, C., Ferreira, H., Muge, F. e Ahern, J. (2001). *Decision Support System for Planning and Management of Biodiversity in Protected Areas. The research project PROBIO*. A. Ward e E. Binaghi (Editors). Proc. Int. Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management. Joint Research Centre, European Commission. June 28-29, 2001, Varese, Italy, pp. 145-151.

Botequilha Leitão, A. and Ahern, J. (in review) *Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable land planning*. *Landscape and Urban Planning*.

Bousquet, F.; Trébuil, G.; Boissau, S.; Baron, C.; d'Aquino, P. E Castella, J.C. (2001). *Knowledge Integration for Participatory Land Management: The Use of Multi-Agent Simulations and a Companionable Modelling Approach*. Workshop on "Participatory Technology Development and Local Knowledge for Sustainable Land Use in Southeast Asia", Chiang Mai, 6-7 June 2001

Doran, Jim (2001). *Intervening to Achieve Co-operative Ecosystem Management: Towards an Agent Based Model*. Journal of Artificial Societies and Social Simulation vol. 4, n° 2 (<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/2/4.html>)

Elfie, P.C., Rempel, R.S. and Carr, A.P., 1999. Patch Analyst user's manual. A tool for quantifying landscape structure. Ontario Ministry of Natural Resources. Northwest Science and Technology. Thunder Bay, Ontario. NWST Technical manual TM-002. Canada.

Ferrant, N. & Deffuant, G, (1998). *Trois apports potentiels des approches "multi-agents" pour l'aide à la décision publique*. Colloque Gestion des territoires ruraux - connaissances et méthodes pour la décision publique, Clermont-Ferrand, 27-28 avril 1998, Cemagref Editions, Antony, 1998, p. 373-385 [Publications Cemagref : 98/0112]

Gardner, R.H. (1998) *RULE*. Version 3.1. Center for Environmental Science, Appalachian Laboratory, University of Maryland, USA:

Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território (2001). *Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e da Biodiversidade*.

McGarigal, K. and Marks, B.J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. United States Department of Agriculture, Forest Service.

Perera, A.H., Baldwin, D.J.B. and Schnekenburger, F., 1997. LEAP II: A landscape ecological analysis package for land use planners and managers. Ontario Forest Research Institute. Ontario Ministry of Natural Resources. Canada.

Milne, B. T. & Matyk, S. *ClaraT - Fractal Analysis Package for Windows*. Ver 1.0 Released Fri Mar 29 1996. Department of Biology University of New Mexico, Albuquerque, USA.

Xin, Yiyi, White, Mark, A., Boeder, Joel, Mladenoff, David, J. *APACK Users Guide*.