

Recebido em 28 de Maio de 2003

Breve apresentação e discussão em torno dos Sistemas de Informação Geográfica

MIGUEL GUEDES TRISTANY ⁽¹⁾

JOSÉ CASTRO COELHO ⁽²⁾

RESUMO

Este artigo faz, dentro duma perspectiva mais didáctica e de formação do que científica, uma breve discussão dos principais conceitos e terminologia dos sistemas de informação geográfica (SIG), das principais vantagens da sua utilização e da sua estrutura e funcionamento sob diversos aspectos. Faz-se, também, uma antevisão das principais potencialidades e condicionantes da utilização dos SIG na agricultura.

ABSTRACT

This paper briefly discusses major concepts and terminology of geographic information systems, advantages in their use, structure and operation under various aspects. Their main potential and limitations in addressing agricultural problems are also presented.

1. Introdução

Na sua definição mais simples, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma aplicação informática que permite associar informação de natureza espacial e informação alfanumérica. Uma definição mais abrangente poderá ser, por exemplo, um sistema que inclui pessoas, hardware, software e procedimentos, que permitam

⁽¹⁾ Aluno doutorando da Secção de Agricultura, do Departamento de Produção Agrícola e Animal do ISA.

⁽²⁾ Professor Associado da Secção de Agricultura, do Departamento de Produção Agrícola e Animal do ISA.

a recolha, armazenamento, consulta, análise, visualização e extracção de dados de natureza espacial e respectiva informação associada, relativos a coisas que existem e acontecimentos que ocorrem na superfície terrestre.

A grande diferença entre um SIG e outros sistemas de informação não geográficos consiste na sua capacidade de manipular informação com base em atributos espaciais. Esta capacidade de relacionar camadas de dados através de atributos geo-referenciados comuns, permite combinar, analisar e, finalmente, cartografar os resultados. A informação espacial utiliza a localização, de acordo com um determinado sistema de coordenadas, como base de referência. A representação mais comum da informação espacial é um mapa, onde a localização de qualquer ponto pode ser dada utilizando o sistema de coordenadas globais (latitude e longitude) ou um sistema de referência local.

O grande antecedente do SIG, como forma de representação de dados geográficos é, inquestionavelmente, o clássico mapa impresso em papel ou outros materiais. Não se defendendo aqui que os mapas impressos possam alguma vez desaparecer, é também certo que apresentam fortes limitações, podendo as questões relacionadas com a motivação subjacente à transição de cartografia clássica para os SIG ser dividida em 3 dimensões distintas: produção, distribuição e utilização.

Ao nível da produção, em primeiro lugar, poderíamos ainda falar de questões relacionadas com a manutenção e com a actualização. Quando se fala de manutenção, entenda-se o objectivo de armazenar a informação recolhida, de forma segura, estável e económica. São sobejamente conhecidas as tradicionais dificuldades relacionadas com as velhas pranchas, o seu enorme volume, as questões relacionadas com a deformação, etc. Uma das grandes vantagens das tecnologias digitais é precisamente a garantia da estabilidade da informação armazenada, desde que sejam cumpridas determinadas exigências de segurança informática. É, no entanto, ao nível da actualização da informação, que a revolução se operou verdadeiramente: qualquer alteração à informação armazenada é efectuada num SIG com extrema facilidade, não pondo em causa o trabalho de meses ou até de anos, o que era frequente até há poucos anos. Este é um dos aspectos mais salientados por inúmeros autores, que salientam a facilidade e a rapidez de introdução de dados como uma das grandes vantagens de um SIG (Aronoff, 1989; Burrough & McDonnel, 1998).

Ao nível da distribuição, a informação geográfica adquiriu a facilidade comum a toda a informação digital: especialmente com a vulgarização da internet como meio de comunicação e divulgação, tornou-se banal a distribuição de mapas quer a nível pessoal quer corporativo ou inter-corporativo, na sua forma mais simples ou associados a sofisticadas aplicações de gestão e controlo (Wesseling *et al.*, 1996). Não sendo necessária uma etapa do processo que exija a passagem a suporte físico (papel, normalmente), desaparecem igualmente os problemas relacionados com deformações, deterioração e transporte.

Ao nível da utilização *sensu strictu*, os SIG vieram dotar o utilizador de uma capacidade de interacção com a informação geográfica incomparavelmente

superior: com a possibilidade de estruturação da informação em camadas, de acordo com a sua natureza, e de processamento intra e inter-camadas, e com a possibilidade de criação de código com acesso a toda a informação e processos existentes, torna-se possível dar resposta a qualquer problema passível de uma formalização objectiva, transformando-os, não só em meros instrumentos de representação ou produção de cartas, mas sim em verdadeiros instrumentos de análise, cálculo e apoio à decisão. A sua capacidade analítica é, segundo diversos autores, a sua maior vantagem (Trangmar *et al.*, 1985; Smyth & Dumansky, 1993; San-Payo, 1996; Neto, 1998; ESRI, 2001), através da capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos geográficos, de recurso a modelos matemáticos, por exemplo para tratamento estatístico, permitindo a sua utilização na previsão e avaliação de cenários alternativos.

Por fim, poderíamos dizer que, com os SIG, e sob certo ponto de vista, desaparece até o clássico percurso conceito conceptual *produção-distribuição-utilização* da informação geográfica: o próprio conceito de utilização de informação geográfica passa a comportar ou incluir os de produção e distribuição. De repente, todo o utilizador passa a potencial produtor de informação geográfica o utilizador em geral pode criar e alterar a sua própria informação, quer geométrica quer alfanumérica, produzir os seus próprios mapas (em boa verdade, e é talvez um dos reversos da medalha, tal potencialidade é também muitas vezes motivo de sérias dúvidas acerca da qualidade de tal informação).

O primeiro SIG terá surgido no Canadá durante os anos 60. Nesta época o principal objectivo era ainda claramente a resolução de alguns problemas no processo de produção de mapas (Tomlinson, 1990). Nesta época, em que se verificava um forte crescimento demográfico e uma pressão cada vez maior sobre os recursos em geral, a par com uma crescente preocupação com o ambiente e um maior envolvimento dos governos nas questões relacionadas com a paisagem e os recursos naturais em geral, tornavam-se imperiosas novas formas de inventariação e planeamento do uso desses recursos (água, solo, estradas, etc.).

A partir dos anos 70 assistiu-se aos primeiros grandes avanços nas tecnologias informáticas, em capacidade de armazenamento, velocidade de processamento, interacção com o utilizador (interfaces gráficos) e redução de custos. Foi nesta década que surgiram as primeiras empresas do ramo (ESRI, Intergraph, entre outras), começando a delinear-se claramente um mercado para aplicações SIG.

Em Portugal, no final dos anos 80, foi criado o Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) e do início dos anos 90 assistiu-se ao estabelecimento da maioria das empresas do mundo dos SIG. É também a altura em que nos SIG é incorporada verdadeiramente a experiência de utilização acumulada por uma base empresarial e científica verdadeiramente significativa.

Actualmente, debatemo-nos com uma série de grandes questões que têm uma vincada dimensão espacial - excesso de população em muitas áreas, poluição, desertificação, desastres naturais, etc. Por outro lado, a localização de um novo negócio, a determinação do melhor solo para uma dada cultura ou a descoberta da

melhor rota para um dado destino são, também, problemas com uma natureza espacial que podem ser tratados com o recurso a SIG. Os SIG permitem-nos criar mapas temáticos, integrar informação da mais diversa natureza, visualizar múltiplos cenários, resolver problemas complexos, apresentar ideias e propor soluções. São essencialmente a possibilidade de utilização em áreas muito diversas e a capacidade de análise, as duas características que têm sido responsáveis pelo sucesso e o espectacular aumento da utilização dos SIG.

2. O que é um SIG e o que é informação geográfica?

O facto de existirem diversas formas de descrever um SIG, que pretendem retratar dimensões completamente diferentes, provoca frequentemente no leigo alguma estranheza. De igual modo, encontra-se frequentemente alguma confusão entre a descrição de um SIG e a descrição da informação geográfica. Todas estas descrições são no entanto complementares, se tivermos em conta que o que está em causa é, algumas vezes, a organização em que o SIG se insere, que dá primazia a conceitos descritores dos recursos que um SIG exige dentro dessa mesma organização; outras vezes é a exploração do SIG dentro da organização que está em causa, dando-se relevo ao *modus operandi* do processo de exploração; finalmente, temos a simples forma conceptual de organização de informação do SIG.

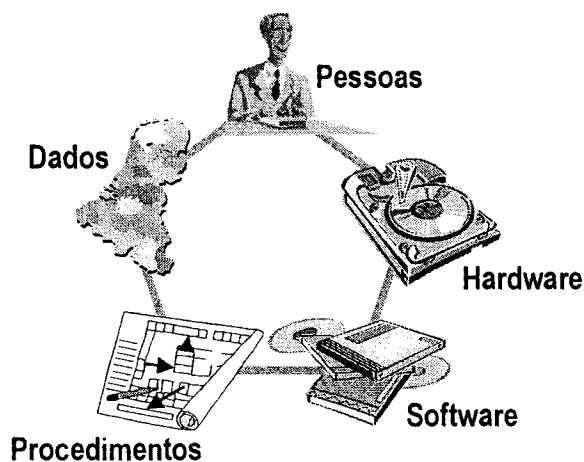
2.1. Componentes de um SIG

Em termos de recursos, um SIG é constituído por cinco componentes principais (Figura 1):

- PESSOAS – definem as tarefas que o SIG executará;
- DADOS – património de informação geográfica existente numa organização;
- PROCEDIMENTOS – património de "raciocínios" de manipulação de informação geográfica existente numa organização;
- SOFTWARE – software SIG, gestores de bases de dados, software de desenho, estatística, etc.;
- HARDWARE – suporte físico da informação, software e procedimentos.

Figura 1

Os principais componentes do SIG



2.2. Funcionalidades de um SIG

Burrough (1998) refere a existência de quatro subsistemas num SIG:

- um subsistema de introdução de dados, que recolhe e/ou processa dados espaciais derivados de mapas existentes, detecção remota, etc.;
- um subsistema de armazenamento, que organiza os dados espaciais de forma a ser possível um acesso rápido tendo em vista a sua utilização em análises subsequentes (que deverá permitir, ainda, a actualização e correcção rápida e precisa da base de dados espacial);
- um subsistema de manipulação e análise, que desempenha uma variedade de tarefas, tais como a alteração da forma dos dados por regras de agregação definidas pelo utilizador ou produzindo estimativas com base em parâmetros e restrições para diversos modelos de simulação e optimização espacio-temporais;
- um subsistema produzindo relatórios que é capaz de apresentar, total ou parcialmente, quer a base de dados original, quer os dados manipulados e o resultado dos modelos espaciais, em formato de tabelas ou mapas.

De uma forma geral, os sistemas de informação geográfica realizam seis tipos de tarefas ou processos com os dados: introdução, manipulação, gestão, pesquisa e

análise, e visualização. Os parágrafos seguintes descrevem, sucintamente, cada um destes processos.

Introdução de dados. Antes de ser possível utilizar dados geográficos num SIG, existe a necessidade de os converter num formato digital adequado. O processo de conversão de dados do formato de papel para ficheiros em formato digital é denominado de *digitalização*, podendo ser efectuado recorrendo a scanners ou mesas de digitalização.

Manipulação de dados. Os dados necessitam, numa segunda fase, de ser transformados ou manipulados de alguma forma, com vista a torná-los compatíveis com o SIG. A informação geográfica pode, por exemplo, estar disponível a diferentes escalas (e.g. por ordem decrescente de detalhe podemos ter eixos de via, códigos postais, divisões administrativas,...), sendo necessário transformá-la para a mesma escala, ou seja, nível de detalhe e exactidão, antes de poder ser integrada.

Gestão de dados. Em projectos SIG de pequena dimensão, pode ser suficiente armazenar os dados em tabelas directamente associadas à informação geo-referenciada. Quando o volume de dados cresce e o número de utilizadores desses dados aumenta, é geralmente mais aconselhável utilizar um sistema gestor de bases de dados (SGBD). O modelo SGBD mais usado em SIG actualmente é o modelo relacional, em que os dados são armazenados conceptualmente como uma colecção de tabelas, sendo utilizados os campos comuns em diferentes tabelas como elos de ligação entre elas. Um exemplo de um SGBD utilizando o modelo relacional é o "*Microsoft Access*".

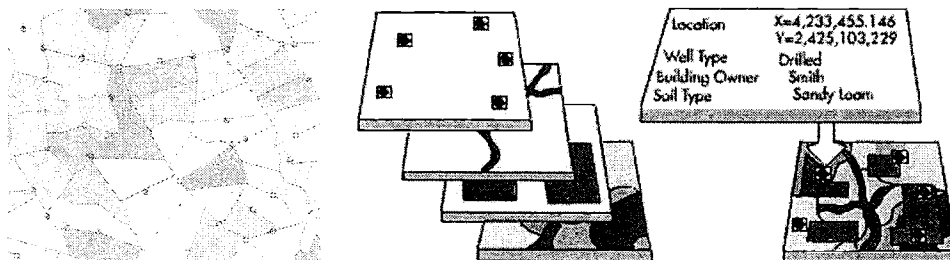
Pesquisa e análise de dados. Os SIG permitem responder a questões simples (e.g. quem é o proprietário de uma determinada parcela de terreno) ou mais complexas (e.g. qual é o tipo de solo dominante nessa mesma parcela). As primeiras utilizam capacidades de pesquisa simples. As segundas necessitam de ferramentas de análise mais sofisticadas, nomeadamente para disponibilizar a informação no momento e formato adequados. O potencial dos SIG revela-se quando estes são utilizados para analisar informação geo-referenciada em busca de padrões ou tendências na ocorrência de fenómenos distribuídos espacialmente ou, ainda, para proceder a análises mediante a utilização de cenários do tipo condicional.

Actualmente os SIG dispõem de inúmeras ferramentas de análise. Entre as mais importantes contam-se a análise de proximidade, de sobreposição (*overlay*) e de redes (Figura 2). A *análise de proximidade* permite responder a questões como: Qual o número de produtores de milho numa área de influência de 10 km de uma cooperativa? Neste caso, o SIG utiliza um processo denominado *buffering* para determinar as relações de proximidade entre os dados geo-referenciados. A *análise de sobreposição (overlay)* consiste na integração de diferentes camadas de dados. A sobreposição permite, por exemplo, criar cartas de potencial agrícola, mediante a integração de dados de solo, declive, infra-estruturas e exigências agro-ecológicas das culturas. A *análise de redes* permite, por sua vez, determinar o caminho mais curto entre dois pontos ou o melhor percurso tendo em conta a necessidade de

passar por diferentes pontos. Um aspecto interessante desta análise é a possibilidade de utilizar critérios de natureza diferente como, por exemplo, variáveis espaciais (distância), temporais (tempo de deslocação) e económicas (custo de deslocação).

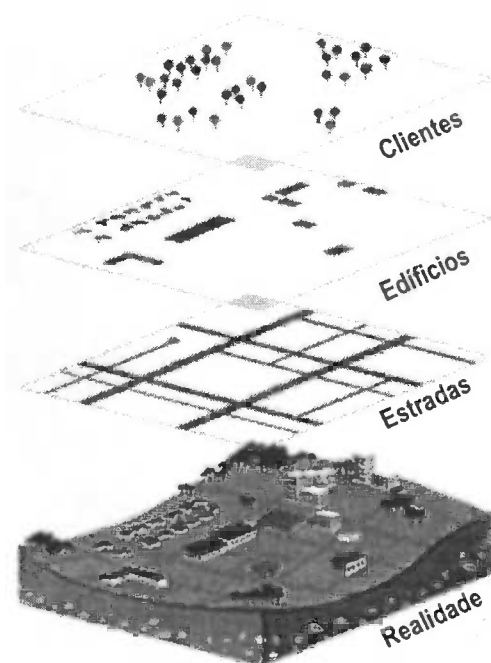
Figura 2

Exemplos de análise espacial: análise de proximidade - qual o hidrante que serve cada parcela? Análise de sobreposição - que proprietário e qual o tipo de solo no local de cada furo?



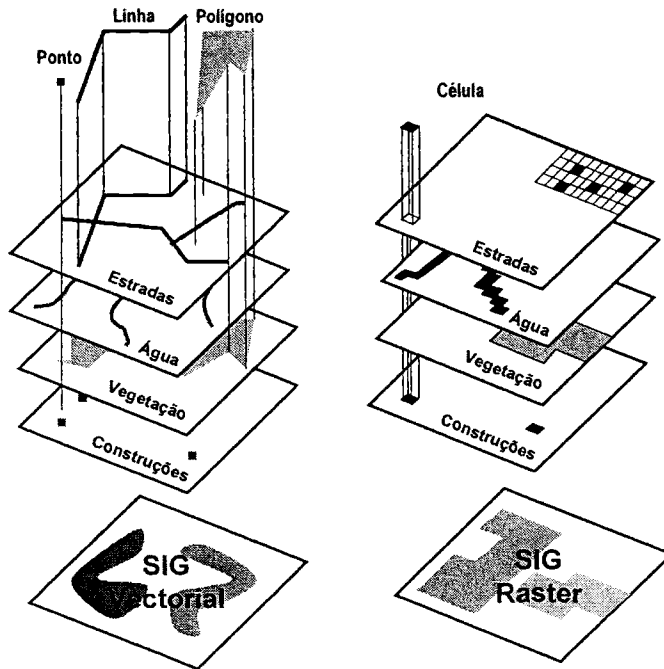
Visualização de dados. Os SIG disponibilizam, actualmente, diversas ferramentas que permitem a adição ao mapa final de gráficos, relatórios, tabelas de dados, modelos 3D, fotografias, etc. A adição da componente espacial oferece uma nova dimensão à visualização da informação, tornando-a muito mais rica.

No sector agrícola, os SIG têm vindo a ser cada vez mais usados em planeamento e gestão a nível regional e da exploração (gestão de perímetros de rega, cartas de potencial agrícola, estudos e projectos de emparcelamento, gestão da exploração,...). A sua utilização em sistemas de Agricultura de Precisão é fundamental, dado que a maior parte das tecnologias que servem de base a estes sistemas necessitam de informação geo-referenciada. Os SIG são utilizados para armazenar, analisar e apresentar a informação. De facto, é a integração dos SIG com outras tecnologias recentes, como o GPS, que permite criar a estrutura complexa de dados subjacente à maior parte dos sistemas de Agricultura de Precisão.

Figura 4*Ilustração da Realidade (ESRI, 1999)*

Os dados espaciais dos SIG podem assumir dois formatos distintos: o modelo **vectorial**, em que os dados são representados por objectos geométricos (pontos, linhas e polígonos) e o modelo **raster**, em que os dados são representados por ficheiros de imagem compostos por uma grelha de células denominadas *pixels* (Figura 5).

No modelo vectorial a informação sobre pontos, linhas e polígonos é codificada e armazenada como uma colecção de coordenadas x,y . A localização de um dado do tipo *ponto* pode ser descrita por uma simples coordenada x,y . Os dados do tipo *linha* podem ser armazenados como um conjunto sequencial de coordenadas. Os dados do tipo *polígono*, por sua vez, podem ser armazenados como um conjunto sequencial de coordenadas em que o primeiro e o último ponto são idênticos.

Figura 5*Modelo Vectorial vs Modelo Raster*

O modelo *raster* possibilita a representação de fenómenos de natureza contínua. Neste modelo, é utilizada uma matriz *raster* (uma grelha de células de imagens - *pixels*) para representar a informação. A resolução (i.e. a definição visual) do *raster* depende do tamanho do *pixel*, dado que estes correspondem a uma determinada área real. Assim, quanto menor o tamanho da célula, ou seja, do *pixel*, maior a resolução da imagem. É um modelo mais adequado para representar fronteiras indefinidas, tais como informação temática sobre tipos de solos ou de vegetação. Para além disto, como os satélites e voos de reconhecimento utilizam modelos de digitalização baseados em *raster*, a informação (i.e. as imagens digitalizadas) podem ser incorporadas directamente nos SIG quando estes são capazes de lidar com este tipo de dados. Contudo, quanto maior a resolução do *raster*, maior será a dimensão do ficheiro, sendo esta a maior limitação deste modelo de dados.

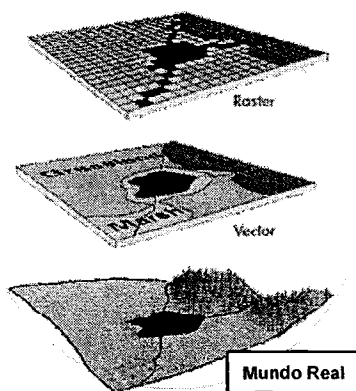
Ambos os modelos de armazenamento de dados geográficos têm vantagens e desvantagens. No entanto, os SIG têm, geralmente, a capacidade de lidar com ambos os formatos, pelo que podemos aproveitar os pontos fortes de cada um

deles. A principal vantagem do modelo de dados vectorial é o facto de permitir a representação precisa de pontos, linhas e polígonos. A principal desvantagem resulta do facto da representação dos polígonos ser discreta (i.e. delimitada por linhas de fronteira bem definidas), quando na realidade os polígonos podem representar uma transição gradual (como, por exemplo, numa carta de solos).

A questão sobre qual dos modelos devemos utilizar depende da natureza e do objectivo do trabalho que estamos a desenvolver e do tipo de dados a tratar (Figura 6). O volume de dados gerados, a facilidade de análise e a exactidão terão também de ser considerados. Geralmente, os dados vectoriais são mais económicos em termos de tamanho de ficheiros e têm uma precisão de localização superior, mas é consideravelmente mais complexa a sua utilização em operações matemáticas. Pelo contrário, os dados *raster* têm a tendência de criar ficheiros mais pesados e ter uma resolução mais grosseira, sendo, no entanto, mais simples de trabalhar matematicamente.

Figura 6

Ilustração do mundo real (ESRI, 1999)



3. Perspectivas de utilização dos SIG na agricultura

O interesse e a vantagem de utilizar aplicações informáticas que permitam associar informação de natureza espacial e informação alfanumérica (os SIG) é, porventura, demasiado óbvia e evidente. No entanto, parece-nos útil estabelecer que a possibilidade de recolha, armazenamento, consulta, análise, visualização e

extracção de dados de natureza espacial e respectiva informação associada, relativos a coisas que existem (solos, culturas, animais, equipamentos, infraestruturas, estrutura fundiária, etc.) e a acontecimentos que ocorrem (operações culturais, projectos de emparcelamento, etc.) à superfície de uma dada região, exploração agrícola ou parcela de cultivo, dá-nos uma muito maior capacidade de apreender de uma forma holística toda a actividade e abre-nos novas fronteiras para o desenvolvimento e a gestão da agricultura, em geral, e do seu planeamento, em particular.

Com efeito, os SIG, a par com o GPS (*global positioning system*), as tecnologias de aquisição automática da dados (sensores de humidade, temperatura, fluxos, etc.) e as tecnologias de taxa de aplicação variável de factores (VRT), permitem-nos sonhar, para breve, com o desenvolvimento e a adopção de sistemas de agricultura de precisão.

Na agricultura, os SIG vieram dotar o utilizador/gestor de uma nova capacidade de interacção com a informação geográfica incomparavelmente superior: com a possibilidade de estruturação da informação em camadas, de acordo com a sua natureza, e de processamento intra e inter-camadas, torna-se possível dar resposta a qualquer problema passível de uma formalização objectiva. Deste modo, os SIG não são meros instrumentos de representação ou de produção de cartas, mas sim verdadeiros instrumentos de análise, cálculo e de apoio à decisão. A sua capacidade analítica é deveras notável, através da capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos geográficos, de recurso a modelos matemáticos, por exemplo para tratamento estatístico, permitindo a sua utilização na previsão e avaliação de cenários alternativos.

Por último, não podemos deixar de referir que uma das principais limitações associadas ao desenvolvimento deste tipo de tecnologias na agricultura, deriva da sua relativa complexidade (hoje em dia, mais conceptual do que formal), colocando em destaque o papel dos técnicos do sector. No entanto, é no manuseamento da informação, nomeadamente na definição dos algoritmos ou dos modelos que relacionam as características do solo, das plantas, etc., com as acções (realizadas ou a realizar), que se encontram as maiores dificuldades. Isto porque, por um lado, os métodos de cálculo dependem muitas vezes de inúmeras variáveis nem sempre fáceis de capturar ou caracterizar (a aplicação de azoto, por exemplo, pode depender do teor em matéria orgânica do solo, da precipitação, do potencial de crescimento da cultura,...) e, por outro, os algoritmos (ou modelos) são não só difíceis de calibrar para situações concretas, como se apresentam praticamente inúteis fora desse contexto específico.

BIBLIOGRAFIA

- ARONOFF, S. (1989) — *Geographic Information Systems: a Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. (1998) — *Principles of Geographical Information Systems (2nd edit)*. Oxford University Press, Oxford.
- ESRI (2001). *What is ArcGIS?*. Environmental Systems Research Institute, Inc., California, USA.
- NETO, P. (1998) — *Sistemas de Informação Geográfica*. Lisboa. FCA.
- SAN-PAYO, M. M., (1996) — *Algumas Notas Sobre Sistemas de Informação Geográfica*. Depto. Engenharia Rural, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- SMYTH, A.J.; DUMANSKI, J. (1993) — *FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management*. FAO, Roma.
- TOMLINSON, R. F. (1990) — Geographic Information System - A new frontier. In *Introductory readings in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, Bristol.
- TRANGMAR, B.B; YOST, R.S.; UEHARA, G. (1985) — Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, 38:45-94.
- WESSELING, C. G.; KARSSSENBERG, D. J.; BURROUGH, P. A.; VAN DEURSEN, W. P. A. (1996) — Integrating dynamic environmental models in GIS. *Trans in GIS*, 1:40-48.