

Sistemas de Apoio à Decisão Espacial: uma contribuição à teoria em Geoprocessamento

Prof. Dr. Sílvio Luís Rafaeli Neto

UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina
PBox 281, 88501-000 Lages SC, Brasil
silvion@cav.udesc.br

Resumo: Tecnologias de Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) são sistemas computacionais destinados a auxiliar processos de tomada de decisão, com objetivo de solucionar problemas geográficos. No Brasil, poucas iniciativas até o momento têm se dedicado ao tema, enquanto que este conceito já é explorado no exterior por diversas organizações de Ciência e Tecnologia. Em geral, as abordagens convencionais insistem em ser recorrentes, sobrepostas e imperativas por teoria. Muitas delas servem-se de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) sem saber que estão, na verdade, aplicando conceitos SADE. Este artigo se dedica a apresentar sistemas SADE, buscando popularizar e discutir alguns conceitos básicos e, desta forma, contribuir para teoria em Geoprocessamento no país.

Palavras-chaves: Decisão, Problema, Apoio, SADE, SIG, Geoprocessamento.

Abstract: Spatial Decision Support Systems (SDSS) technologies are computer systems for supporting decision-making processes on geographical problems. In Brazil, there are sparse initiatives on this theme, other side this concept has been used by numerous science and technology institutions on abroad. In general, the ordinary approaches have insisted to be recurrent, overlapped and demand theory. Some of them do not know that by using Geographic Information Systems (GIS) actually are applying SDSS concepts. This article dedicates to present SDSS with the aim to popularize and discuss some basic concepts and, at this way, to contribute for solidification of Geoprocessing field in this country.

Keywords: Decision, Problem, Support, SDSS, GIS, Geoprocessing field.

1 Introdução

No início da década de 90, DENSHAM (1991) publica trabalho seminal relacionando os campos da Ciência da Informação Geográfica (GOODCHILD, 1992) e Sistemas de Apoio à Decisão (BONCZEK, HOLSAPPLE & WHINSTON, 1980; SPRAGUE JR. & WATSON, 1991; SAGE, 1991; TURBAN, 1995), ambas largamente pesquisadas desde a década de 60. O autor cunhou o termo *Spatial Decision Support System* (SDSS) ou Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE), para designar sistemas de informação com capacidade de auxiliar o ser humano a tomar decisões baseadas em dados referenciados geograficamente.

No Brasil, Geoprocessamento tem um longo caminho a percorrer nesta área, já que poucos autores se dedicam ao tema (Neto, 2000; Neto & Rodrigues, 2000; Seffino et al., 1999; GALVÃO et al.). O propósito deste artigo é vir ao encontro da carência de tópicos da teoria, no intuito de popularizar e discutir conceitos e contribuir para maturidade do Geoprocessamento no país.

2 Requisitos tecnológicos para suporte à decisão espacial

Problema espacial se manifesta quando há uma insatisfação gerada sobre o estado atual da posição, conformação ou atributos de entidades pertencentes a sistemas geográficos. Decisão

espacial designa a decisão tomada com base em dados espaciais (posição ou conformação) (Simon, 1960).

Tecnologias de apoio à decisão espacial devem, essencialmente, assistir ao tomador de decisões, ou decisor, durante todo o processo decisório. Devem auxiliar na exploração do espaço-problema (etapa de inteligência), na formulação de alternativas de solução (etapa de projeto) e na escolha de uma alternativa preferida (etapa de escolha) (Simon, 1960).

A inteligência é uma etapa que demanda conhecimento especialista sobre as variáveis que contribuem para o problema. O decisor deve analisar o sistema geográfico onde o problema se manifesta, delimitar os componentes deste sistema que demandam solução, bem como relacionar as causas prováveis. SADE pode atuar como repositório de informação, suficiente e exata, sobre o sistema em análise, além de prover ferramentas para que o decisor explore, manipule e apresente os dados de interesse (Quadro 1).

Na etapa de projeto o decisor deve construir alternativas de solução para o problema, ponderando o papel de cada agente causador. Para isso, é importante que o decisor possa dispor de modelos de otimização, simulação, previsão, análises heurísticas, entre outros (Yeh & Qiao, 1999). Na medida em que a tecnologia se torna um ambiente virtual do mundo real, o decisor pode realizar análises de sensibilidade (o-que-se) para determinar como as mudanças nas variáveis do sistema geográfico afetam o problema. Podem ser gerados inúmeros cenários, cada qual podendo se constituir numa alternativa de solução do problema.

Na etapa de escolha, ferramentas de implementação de MCDA (Multicriteria Decision Aid – auxílio à decisão baseada em múltiplos critérios) oferecem ao decisor (ZOPOUNIDIS & DOUMPOS, 2000): a) possibilidade de adicionar, excluir ou modificar critérios de avaliação; b) avaliação e gerenciamento de pesos dos critérios; c) interfaces amigáveis baseadas em representações visuais das alternativas e dos critérios; d) análises de sensibilidade para determinar como as mudanças nos pesos dos critérios podem afetar a decisão; e) classificação e ordenamento das alternativas.

Quadro 1 - Requisitos tecnológicos para suporte a decisões espaciais - adaptado de Wellar, Cameron & Sawada (1994).

Atividade	Palavras-chaves	Objetivo
Análise	Comparação, construção, exame, exploração, introdução, revisão.	Inquirição
Síntese	Agregação, compreensão, composição, dedução, generalização, integralização, sobreposição, relatório, unificação, união.	Descrição
Explanação	Associação, causa, interpretação, racionalização, razão, relatório.	Explicação
Predição	Previsão, futuro, resultado, prognóstico, tendência.	Previsão
Seleção	Procura, avaliação, recomendação, escolha, preferência, objetivo, curso, ordenação, arranjo, priorização.	Opção

1 Sistemas de apoio à decisão espacial

Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) são sistemas de informação destinados a auxiliar decisões baseadas em dados geográficos (posição, geometria e atributos). Sua função precípua é prover apoio a processos específicos de tomada de decisão, visando resolver problemas de um sistema geográfico. São capazes de modelar as parcelas morfológica e dinâmica deste sistema. A parcela morfológica se refere às entidades físicas estáticas do mundo real, implementadas no SADE através do Banco de Dados Geográficos (BDG). A parcela dinâmica se refere à transferência de matéria ou energia entre os componentes morfológicos. São processos de cujas análises e estudos científicos podem ser derivados modelos matemáticos de simulação. Tais modelos são

implementados no SADE através do Banco de Modelos (BM). Para análise de problemas espaciais, há que se dar atenção aos modelos de simulação, por representarem o comportamento dinâmico do sistema do mundo real.

A maior utilidade de SADE está no suporte a problemas não estruturados e semi-estruturados. Se por um lado soluções estruturadas praticamente não necessitam de meios de suporte à decisão, pois o caminho para a solução já é conhecido antecipadamente, problemas geográficos costumam exigir tecnologias de suporte, porquanto apresentam pouco ou nenhum grau de estruturação. A estrutura de um problema se refere ao nível de conhecimento que existe sobre as causas, as conseqüências e o processo de solução. Tipicamente, um problema é não estruturado quando ocorre pela primeira vez. Um exemplo seria quando chuva torrencial provoca alagamento num ponto da cidade que nunca havia sido alagado, ou um barranco que desliza sobre uma estrada. Problemas semi-estruturados são problemas que já sofreram alguma análise que conduziu a conclusões parciais, como os modelos de previsão de chuva. Sua existência decorre de décadas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na tentativa de se compreender a estrutura do fenômeno e prever seu comportamento. Problemas estruturados normalmente decorrem de processos criados pelo Homem, ao passo que problemas não estruturados decorrem de processos no meio ambiente natural.

O paradigma DDM (diálogo-dado-modelo) foi uma tentativa inicial de se estabelecer os componentes que um SADE deveria possuir para prover suporte a decisões (Figura 1). Este paradigma pressupõe a necessidade de informação, de modelos virtuais da realidade e de meios de comunicação com o decisor. A informação é representada pelos dados armazenados no Banco de Dados, os modelos são representados por algoritmos computacionais que implementam a modelagem matemática do fluxo de matéria e energia no sistema geográfico e a comunicação é representada por interfaces gráficas computacionais, com as quais o decisor interage.

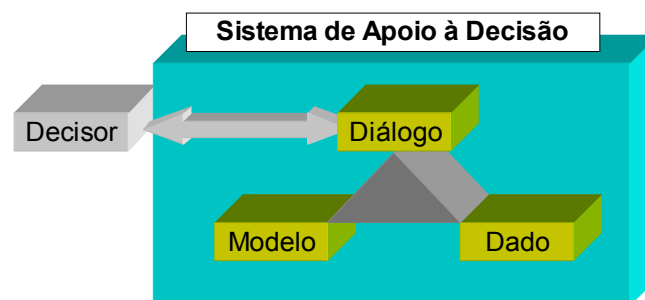


Figura 1 – Paradigma DDM

A solução de problemas geográficos demanda progressivamente modelos matemáticos de simulação dos processos que envolvem transporte de matéria e energia, sendo que o meio científico é incapaz de produzi-los em quantidade e qualidade suficientes, a tempo de serem colocados em prática. Muitos deles demoram décadas para serem considerados confiáveis, e quando o são, geralmente se aplicam a situações específicas para as quais foram desenvolvidos. Além disso, carecem de calibração, ou seja, os parâmetros matemáticos devem ser adequados para cada situação em particular, o que também demanda anos de observações e processos de tentativa-erro.

Atualmente existem abordagens que procuram explorar mecanismos da Inteligência Artificial na tentativa de buscar outras formas de estruturação dos problemas. Uma linha importante de pesquisa está na utilização do conceito de aprendizado. Para isso são desenvolvidos sistemas que utilizam conjuntos de regras ou então redes neurais artificiais. A medida em que se conhece o valor de entrada de um evento e o resultado que isto provoca, o sistema cria um novo conjunto de regras que contempla a nova situação, ou redefine os valores das “células neurais”. Estas abordagens eliminam a necessidade de modelos matemáticos e são flexíveis para admitir situações novas no sistema geográfico. Um exemplo de aplicação destas técnicas são os jogos eletrônicos.

A aplicação de agentes inteligentes vem sendo estudada há algum tempo, e alguns progressos já podem ser verificados (BENNETT, 1997; YEH & QIAO, 1999). Agente Inteligente é conceito da Inteligência Artificial (GOUL, HENDERSON & TONGE, 1992) representado por um conjunto de processos auto-contidos que se executam em segundo plano (RODRIGUES & RAPER, 1997). Pelo fato de possuírem certa autonomia, os agentes têm o papel de automatizar certos procedimentos,

desencadeados por um estímulo. Podem desempenhar funções variadas no sistema, como manter o software atualizado automaticamente, responder questionamentos do usuário, processar dados, gerar relatórios, entre outros.

3 Sistemas de informação geográfica como sistemas de apoio à decisão espacial

Considerando que a etapa de inteligência exige informação e que isto está disponível em tecnologias SIG, conclui-se que SIG também são sistemas de suporte à decisão. Porém sua capacidade de apoio é limitada à etapa de inteligência, carecendo de suporte conceitual às demais etapas do processo decisório.

Costuma-se associar ao termo Sistema de Apoio à Decisão (SAD) a existência de modelos matemáticos da dinâmica do sistema do mundo real. Trata-se de uma cunhagem meramente acadêmica, mas que vêm sendo adotada como paradigma mundial. Nas áreas de Administração, Gerência e Pesquisa Operacional, onde nasceu o conceito SAD, não há necessidade de informações espaciais. Tecnologias SADE resultariam da união de tecnologias SIG com tecnologias SAD (Figura 2).

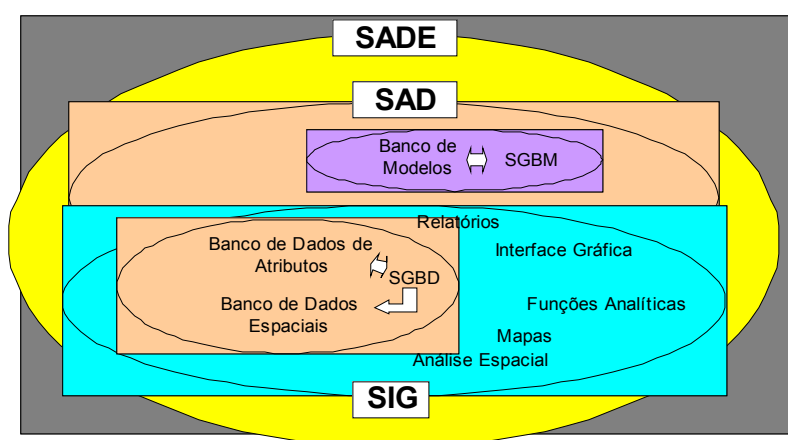


Figura 2 - Origem tecnológica de SADE

Partindo-se da grande área Ciências Exatas e da Terra do CNPq, área de Ciência da Computação, sub-área de Metodologias e Técnicas de Computação, chega-se à especialidade Sistemas de Informação (SI). Em termos tecnológicos e conforme a Figura 2, SADE seria a próxima ramificação desta hierarquia, seguido pelos sistemas SAD e SIG. Este é um ponto importante cuja discussão está aberta (Figura 3).

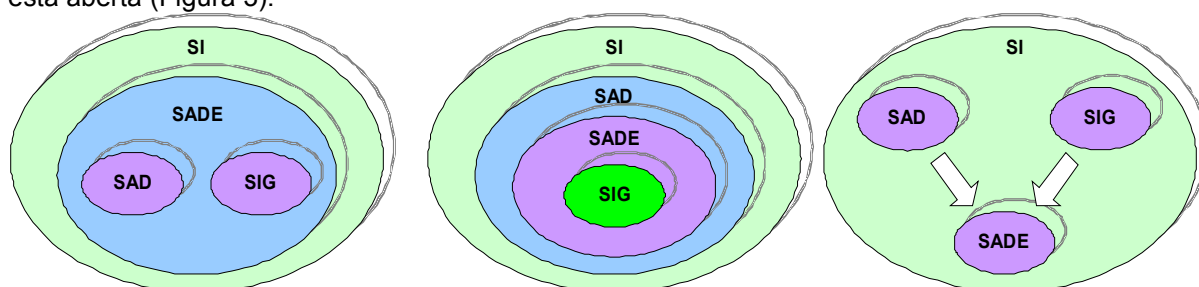


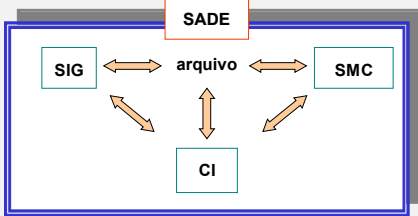
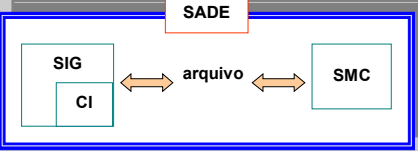
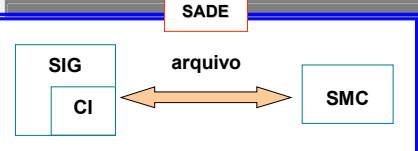
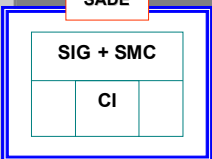
Figura 3 – Possíveis relacionamentos conceituais de tecnologias de suporte à decisão

A capacidade de suporte à decisão de SIG está calcada no BDG e nas funcionalidades de software para manipulação dos dados. O BDG modela a morfologia do mundo real, através dos dados espaciais, e captura sua dinâmica através dos atributos. Na etapa de inteligência é importante a existência de informação confiável, capaz de ser manipulada de forma eficiente. A análise de problemas geográficos costuma exigir volume significativo de dados, devido ao número de componentes do sistema geográfico que ocorrem para a existência do problema. As características dos dados e sua respectiva articulação no BDG devem ser definidos na modelagem conceitual do sistema, sempre focalizando os problemas que o SIG deve ajudar a resolver.

4 Desenvolvimento de tecnologia SADE

Na visão tecnológica da Figura 3, sistemas SIG e SAD representam tecnologias seminais para o desenvolvimento de tecnologias SADE. De fato, Neto & Rodrigues (1999) mostraram que, nas principais estratégias praticadas de desenvolvimento de tecnologias SADE, SIG é considerado o subsistema principal e os aplicativos de modelagem matemática científica, o subsistema secundário. De acordo com os autores, as diferentes estratégias variam na proximidade lógica e física entre SIG e softwares de modelagem científica, na forma de transação de dados entre si e na proximidade lógica e física do subsistema de integração com os dois subsistemas integrados por este.

Quadro 2 - Estratégias de acoplamento de subsistemas de software (Neto & Rodrigues 1999)

Classe de Acoplamento ¹	Característica	Representação
Livre ou fraco "loose coupling"	modelagem científica independente, transferência de dados, controle da integração independente.	
Próximo ou médio "close coupling"	modelagem científica independente, transferência de dados, controle da integração incorporado.	
Rígido ou forte "tight coupling"	modelagem científica independente, compartilhamento de dados, controle da integração incorporado.	
Pleno "full integration"	modelagem científica incorporada, compartilhamento de dados, controle da integração incorporado.	

No acoplamento livre não há integração lógica nem física entre os subsistemas. Seu maior atrativo está no aproveitamento integral de subsistemas existentes. Os esforços de programação se concentram sobre o software que realiza o controle da integração, conferindo custo e tempo de desenvolvimento relativamente sintéticos. O desempenho do sistema tende a ser baixo devido à necessidade de operações de tradução e depuração dos dados transferidos entre os subsistemas. O SADE também tende a ser lento, quando se realizam simulações de comportamento do sistema real, que envolvam um número significativo de classes de entidades geográficas. Pelo fato do SIG e sistema de modelagem científica (SMC) trabalharem independentes, o software de integração teria de realizar inúmeras operações de transferências de dados entre estes sistemas. Haveria duplicação de informações, na medida em que um mesmo dado deveria transitar do SIG ao SMC, via arquivos intermediários. Para cada novo conjunto de dados, gerados durante a simulação, estes arquivos deveriam ser atualizados, aumentando o risco de pane no sistema.

No acoplamento próximo também não há integração lógica nem física entre os subsistemas. O software de controle da integração seria incorporado a um dos subsistemas integrados por ele, normalmente o SIG, por dedicação ou habilitação. A habilitação ocorre quando o software de integração é desenvolvido com linguagens interpretadas no tempo de execução, o que empobrece o desempenho do sistema. Na dedicação o desenvolvimento ocorre com linguagens de baixo nível como C, C++ e outras. Espera-se uma melhoria no desempenho do SADE devido ao software de

¹ Os termos foram aproveitados de seu correspondente em inglês sem, necessariamente, manter o mesmo significado, porque este varia de autor para autor.

integração estar acoplado usualmente ao SIG. Mas as limitações de desempenho devido à independência do SIG e do SMC permanecem as mesmas.

Os subsistemas permanecem independentes no acoplamento rígido. Ao invés dos dados serem transferidos através de arquivos intermediários, isto é realizado diretamente nas estruturas de armazenamento nativas dos subsistemas SIG e/ou SMC. Isto confere uma proximidade lógica maior entre os subsistemas esperando-se, como resultado, um melhor desempenho do SADE. Usualmente o SIG é mais flexível para desenvolver rotinas de armazenamento em formatos distintos. O programador deve estudar a estrutura de armazenamento do SMC e programar com linguagem de baixo nível a rotina que realizará a transferência dos dados geográficos do SIG, mais os parâmetros necessários ao desempenho do SMC.

A integração plena se caracteriza quando o software de integração, o SIG e o SMC fazem parte de um modelo conceitual único. Nas abordagens acima, as tecnologias SIG e SMC resultam de modelos conceituais distintos, desenvolvidos em separado, por empresas ou instituições independentes, em diferentes épocas. São sistemas dissociados que se procura integrar de alguma maneira. Para haver integração plena é necessário haver integração de empresas ou instituições especializadas, tanto em SIG como SMC. Os sistemas SMC são altamente especialistas, pois a compreensão do fluxo de matéria e energia no sistema geográfico exige alto nível de conhecimento. O modelo conceitual único é necessário, pois garantirá o nível de acoplamento necessário para que dados, modelos científicos, relatórios e interfaces com o usuário garantam apoio eficiente e eficaz aos processos decisórios envolvendo problemas semi-estruturados.

Implementar a integração plena implica no estabelecimento de estratégias comerciais das empresas ou instituições visando atingir um determinado mercado. Este mercado deve gerar renda suficiente para justificar os investimentos em desenvolvimento de produtos integrados. Sistemas monolíticos não se justificam na maioria dos problemas geográficos. Alguns problemas específicos, como roteamento e análise de redes de infra-estrutura, têm conseguido atrair a atenção dos investidores. Para as demais áreas, como prevenção de desastres naturais, proteção ambiental, gerenciamento do uso e ocupação do solo e gerenciamento de recursos hídricos a tendência é as empresas investirem em sistemas modulares. Num primeiro momento se desenvolve um núcleo central, normalmente com funcionalidades SIG, sendo incrementado com funções de simulação à medida que o mercado amadurece. Alguns desenvolvedores de SIG já disponibilizam bibliotecas de códigos orientadas-a-objetos, como meio de outorgar às áreas especialistas flexibilidade de desenvolvimento de aplicativos, com certa facilidade. As pessoas usualmente envolvidas são projetistas ou analistas de sistemas, com conhecimento em programação. Em tese, o decisor pode usar "pedaços" de um SIG A, de um SIG B, de um CAD C, de um SMC D e construir seu SADE personalizado.

Das abordagens acima, apenas a integração plena parece possibilitar a implementação do BM e os conceitos associados como estruturação de problema, herança, reutilização, abstração, integração, decomposição, processamento encadeado, invocação, recuperação e dicionário (Neto, 2000). O acoplamento pleno torna isto mais permissível, porém, sob uma estrutura conceitual única (Sui & Maggio, 1999). Isto significa que se deve conceber uma estrutura que permita integrar os dados geográficos a tantos quantos forem os modelos no BM.

2 Conclusões

A complexidade natural dos problemas geográficos demanda tecnologias modernas de suporte aos processos decisórios que visam sua solução. Esta complexidade caracteriza os problemas geográficos como problemas não estruturados ou problemas semi-estruturados. O grau de estruturação de um problema indica o nível de conhecimento sobre o assunto e a facilidade da tomada de decisão. Quanto menos estruturado, mais difícil é a decisão. Tecnologias de Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE) facilitam o entendimento do problema, sua estruturação, a geração de alternativas de solução e a seleção da melhor alternativa, com base num conjunto de critérios.

Tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) também são sistemas que auxiliam o decisor na tomada de decisão. São responsáveis pela representação de sistemas morfológicos e são geneticamente providos com instrumentos de manipulação, análise e apresentação de dados geográficos. Sua principal utilidade no processo decisório está no suporte à etapa de inteligência.

Agregando-se as funcionalidades nativas de SIG e SAD tem-se os SADE. Seu vínculo conceitual pode ser direcionado às Ciências Exatas e da Terra até a sub-área de Metodologias e Técnicas de Computação, na qual residem os Sistemas de Informação (SI). A discussão está aberta sobre como arranjar SIG, SAD e SADE em SI.

Existem diversas estratégias para o desenvolvimento de tecnologias SADE, desde as mais rápidas e baratas até as mais demoradas e caras. Alguns decisores já podem contar com tecnologias SADE comerciais em áreas como roteamento e até mesmo simulação hidrológica. Mas são poucas as opções do mercado, restando buscar tais sistemas em Universidades, institutos de pesquisas e órgãos governamentais, especialmente do exterior.

5 Referências

- Bennet, D.:** *A framework for the integration of geographical information systems and modelbase management*, **International Journal of Geographical Information Sciences**, 11/1997, 337-357.
- Bonczek, R. H.; Holsapple, C. W.; Whinston A. B.:** *The evolving roles of models in decision support systems*, **Decision Sciences**, 11/1980, 337-356.
- Bonczek, R. H.; Holsapple, C. W.; Whinston, A. B.:** *The evolving roles of models in decision support systems*, **Decision Sciences**, 11/1980, 337-356.
- Densham, P.:** *Spatial decision support systems*. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. ed., **Geographical Information Systems: principles and applications**, New York, Longman, vol. 1, 1991, 403-412.
- Galvão, R.; Barros Neto, J.; Pesse, R.; Glazar, J.:** *Georedes: sistema de apoio à decisão espacial para modelos em redes georeferenciadas*. In: GISBRASIL'99, Salvador, 1999. **Anais**. Fator-Gis, 1999(em CD-ROOM)
- Goodchild, M. F.:** *Geographical information science*, **International Journal of Geographical Information Systems**, 6/1992, 31-45.
- Goul, M.; Henderson, J. C.; Tonge, F. M.:** *The emergence of artificial intelligence as a reference discipline for decision support systems research*, **Decision Sciences**, 23/1992, 1263-1276.
- Neto, S. L. R.:** *Um modelo conceitual de sistema de apoio à decisão espacial para gestão de desastres por inundações*, Tese de **Doutorado**, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000, 231p.
<http://www.cav.udesc.br/~engrural/ie/professores/silvion/html/index.htm>
- Neto, S. L. R.; Rodrigues, M.:** A taxonomy of strategies for developing spatial decision support systems. In W. Wojtkowski, W. G. Wojtkowski, S. Wrycza, J. Zupancic (ed.), *Systems development methods for databases, enterprise, modelling, and workflow management*. New York, Kluwer Academic/Plenum, 2000, 139-155.
- Neto, S. L. R.; Rodrigues, M.:** *Um modelo conceitual para integração de modelos científicos e informação geográfica*. In: III Workshop Brasileiro de Geoinformática – GEOINFO, 3., Rio de Janeiro, 2001. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Computação. 2001. 71-78.
- Rodrigues A.; Raper J.:** *Defining spatial agents*. 1997.
[<http://helios.cnig.pt/~armanda/html/Livro.html>]
- Sage, A.:** *Decision support systems engineering*, New York, Willey & Sons, 1991.
- Seffino, L. A.; Medeiros, C. B.; Rocha, J. V.; Yi, B.:** *Woodss - a spatial decision support system based on workflows*. **Decision Support Systems**, 27/1999, 105-23.
- Simon, H. A.:** *The new science of management decision*, New York, Harper and Row, 1960.
- Sprague Jr., R. H.; Watson, H. J.:** *Sistema de Apoio à Decisão: colocando a teoria em prática*, Rio de Janeiro, Campus, 1991.
- Sui, D.; Maggio, R.:** *Integrating gis with hydrological modeling: practices, problems, and prospects*, **Computers, Environment and Urban Systems**, 23/1999, 33-51.
- Sui, D.; Maggio, R.:** *Integrating gis with hydrological modeling: practices, problems, and prospects*, **Computers, Environment and Urban Systems**, 23/1999, 33-51.
- Turban, E.:** *Decision support systems and expert systems*, Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1995.
- Wellar, B.; Cameron, N.; Sawada, M.:** *Progress in building linkages between gis and methods and techniques of scientific inquiry*, **Computers, Environment and Urban Systems**, 18/1994, 67-80.
- YEH, A. G.; QIAO, J.:** *An intelligent solution support system for spatial modeling and decision support*. In: Hawaii International Conference on System Science, 32, Hawaii, 1999.
- Zopounidis, C.; Doumpos, M.:** *PREFDIS: a multicriteria decision support system for sorting decision problems*, **Computers & Operations Research**, 27/2000, 779-797.