

MAPEAMENTO COM USO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO E LÓGICA FUZZY COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL

Cereda Junior, Abimael¹; Sergio Antonio, Röhm²; Lollo, José Augusto de³
1 - UFSCar / PUC-Campinas. 2 - UFSCar. 3 - UNESP - Campus Ilha Solteira.

INTRODUÇÃO

A sociedade, e suas organizações, sejam elas humanas, econômicas ou políticas, procuram formas de controlar o espaço geográfico, bem com sua dinâmica, obtendo – ou assim acreditando – seu domínio, permitindo a intervenção e exploração, a fim de edificar não só sua habitação, mas toda a infra-estrutura para satisfazer as necessidades existentes e aquelas criadas pelo sistema econômico vigente.

Pela análise histórica e comparativa entre as formas de ocupação humana, pode-se inferir que, através dos tempos, os recursos naturais foram considerados fonte inesgotável e o ambiente físico passível de intervenções de qualquer tipo.

Esta abordagem tem sido pautada em formas de planejamento que não consideram a dimensão ambiental, sob a égide do pensamento que não há esgotamento de tais recursos.

Existe, assim, um espaço inventariado sob a ótica estática, onde obras de engenharia de contenção ou mesmo modificações físico-territoriais muito bem fundamentadas cientificamente são realizadas, o que acelera os processos dinâmicos da paisagem que ali naturalmente se fazem presente.

Sabe-se, entretanto, que o meio ambiente não é a simples justaposição matemática ou geométrica entre diversos componentes, estanques no espaço/tempo, mas sim um sistema complexo, em contínua renovação dinâmica, resultado da relação dialética existente entre seus elementos, devendo ser a investigação destas feitas em conjunto.

Ao se tratar do Planejamento Urbano e Regional, a dimensão ambiental nem sempre é considerada, ocasionando diversos problemas uma vez que para o melhor entendimento do processo global, devem ser consideradas as interconexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem.

A cidade, meio ambiente construído e idealizado para suprir diversas necessidades sociais, possui particularidades que o diferenciam do meio natural original. Todavia, os mesmos conceitos e processos reconhecidos pelas ciências da natureza ocorrem nos assentamentos urbanos, de forma muito mais acelerada e crítica.

Para Tuan (1980) o “estilo de vida de um povo é a soma de suas atividades econômicas, sociais e ultraterrenas, tendo tais atividades um reflexo nos padrões espaciais, nas ocupações humanas, no meio ambiente”.

A abordagem integradora de diversas áreas do conhecimento, ou holística, permite o entendimento do processo global, as interconexões entre os elementos e o caráter dinâmico da paisagem, sendo a expressão científica de tal visão a Teoria Geral dos Sistemas.

Para o planejamento, exploração econômica ou mesmo entendimento com fins de preservação, diversas áreas do conhecimento se apropriaram do meio ambiente como objeto de estudo, estando tais interesses intrinsecamente ligados, com uma linha tênue de separação.

Entretanto, a apropriação, pelos planejadores e gestores, destes métodos, metodologias e técnicas fomentados pela Academia, nem sempre é feita de forma a considerar as complexas relações entre os componentes da natureza, e quando o é, baseia-se no paradigma do inventário ambiental. Esta visão deve ser superada, uma vez que a caracterização e levantamento de dados imutáveis não condizem com a realidade dinâmica e integrada que se materializa no espaço.

O consenso imaginário existente entre diversos autores e linhas de pesquisa é que não se deve fazer dos estudos ambientais, sejam eles acadêmicos ou não, uma simples compilação enciclopédica, mas ter estes condições de capacitar, através de conhecimentos adquiridos e dominados, os responsáveis pela elaboração de planos ou resoluções no ambiente, já que estes estudos promovem a identificação das potencialidades de uso ou não do solo, vulnerabilidades, ocupação e possível desempenho futuro. Contudo, isto não se concretiza nos estudos finais.

Para Ribas (2002), o controle sobre os problemas de degradação decorrentes da urbanização só se dará por meio do conhecimento dos processos e ciclos naturais específicos de cada local, sendo a incorporação dos aspectos ambientais às práticas do planejamento e gestão ambiental do território necessária para consubstanciar uma configuração de usos e funções mais apropriados a uma região.

Grinover (1989) entende o meio ambiente como um jogo de interações complexas entre o meio suporte (elementos abióticos), os elementos vivos (elementos bióticos) e as práticas sociais produtivas do homem, sendo o meio ambiente vivido e transformado pela sociedade abarca o natural, as tecno-estruturas criadas pelo homem (ambiente artificial) e o ambiente social ou cultural (SACHS, 1986)

Com tais vivências e transformações, a ruptura do equilíbrio do ecossistema é inevitável. Entretanto, Garcias (1997) considera a ocupação do espaço para a edificação concentrada do habitat humano resulta na alteração do meio ambiente natural, ponderando que concomitantemente a ela há também busca pelo equilíbrio natural, seja ele com a ocupação urbana ou mesmo os processos naturais, com a renovação contínua no meio-ambiente, se concretizando espacialmente no Geossistema.

A Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy em 1901, com bases na Segunda Lei da Termodinâmica, visava tanto a investigação científica dos sistemas em várias ciências quanto sua aplicação tecnológica e, ainda, a própria filosofia dos sistemas, no sentido de promover a discussão desse novo paradigma científico (Rodrigues, 2001).

A Geografia absorveu tal teoria principalmente na área de Geografia Física, já que a abordagem positivista afastava qualquer possibilidade de utilização na Geografia Humana, segundo críticos dela.

Sotchava, geógrafo soviético, foi responsável por conceituar os modelos e os sistemas, dentro da ciência da paisagem e, em 1963, diante da noção de ecossistema apresentada

por Tansley em 1934, adapta o termo a um conceito geográfico, inserindo nele a categoria espacial e define o conceito de Geossistema (DIAS, 1998).

Sotchava (1977) afirma que o conceito de Geossistema vem conferir “precisão aos limites entre a Geografia Física e as outras disciplinas geográficas, definindo ao mesmo tempo, a essência do seu campo de investigações e o seu lugar no conjunto da Geografia”.

Assim, o geossistema é definido por Christofolletti (1990) como a “organização espacial oriunda dos processos do meio ambiente físico e biótico”. Monteiro (1978), de forma mais abrangente, define-o como “um sistema singular, complexo, onde interagem elementos humanos, físicos, químicos e biológicos e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagonico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do próprio sistema”.

Sob esta ótica, Sotchava (1977) afirma que a preocupação central dos estudos da Geografia Física não é o simples estudo dos componentes da natureza, mas sim, as conexões entre eles, devendo o estudo não ficar restrito à morfologia da paisagem e suas subdivisões, mas extrapolar para o estudo da sua dinâmica, incluindo as conexões entre o homem e a natureza.

MAPEAMENTO DE SÍNTESE E PLANEJAMENTO

Como Martinelli e Pedrotti (2001) afirmam, o geossistema constitui um constructo teórico visto como unidade dimensional ideal que abarca a integridade da realidade concreta, um espaço que hoje se confunde com o meio técnico-científico-informacional.

O mapeamento temático urbano-ambiental, pautado na Cartografia de Síntese surge assim como ferramental de integração. As diversas cartas sobrepostas através de procedimentos lógicos e computacionais auxiliam na tomada de decisão dos gestores.

Para Martinelli e Pedrotti (2001), a partir do pensamento de Lacoste (1988) no contexto da cartografia ambiental, a cartografia das unidades de paisagem se concebem como uma cartografia de síntese, dotadas de morfologia, funcionamento e comportamento, que leva em conta a articulação dos diferentes níveis de análise em conformidade com as ordens de grandeza em que os fenômenos se manifestam, bem como as combinações e contradições que acontecem entre conjuntos espaciais de conteúdos distintos, definidos pelos fenômenos sob apreciação, num mesmo nível temporo-espacial.

Desta forma, como pontua Martinelli (2005), no mapeamento de síntese os elementos não estão mais em simples superposição ou em justaposição, mas fundidos em tipos – as unidades taxonômicas. Constituem, assim, conjuntos espaciais que são agrupamentos de lugares caracterizados por integração de atributos ou variáveis, constituindo-se sistemas lógicos.

Esta confusão entre mapeamento de síntese e a simples superposição ou justaposição de análises se dá principalmente pelo emprego dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) de maneira mais ampla, sem embasamento teórico-metodológico, e que, conforme Martinelli (2005), resulta em mapas muito confusos nos quais se acumula uma multidão de hachuras, cores e símbolos, até mesmo índices alfanuméricos, negando a própria idéia de síntese.

Os SIGs são talvez os mais importantes instrumentos entre as diversas tecnologias de Geoprocessamento, sendo inclusive muitas vezes confundidos com estas (MORATO et al., 2003). Câmara e Davis (2001) conceituam o Geoprocessamento como a “disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica”.

Como salientam Medeiros e Câmara (2001), o principal desafio é capturar, no Sistema de Informações Geográficas, com o menor grau de reducionismo possível, a natureza dos padrões e processos do espaço.

Estes mesmos autores afirmam que, por tal dificuldade de transposição, grande parte das aplicações em Geoprocessamento representa o espaço somente como um inventário, delimitando uma área de estudo e apresentando-a, sem o entendimento global.

No âmbito do planejamento os SIGs se destacam pela capacidade de apresentar os dados em diferentes níveis de detalhe, holisticamente ou um resultado analítico, com a utilização de diversos dados ambientais, que são processados entre as etapas de diagnóstico e seleção de opções, ou seja, aquelas que utilizam métodos que envolvem análise espacial, sistemas de listagens, matrizes e modelos (SANTOS et al., 1997).

Para desenvolver análises, os dados (ou modelo de informação) devem ser organizados em níveis (ou *layers*) de apresentação e de maneira que não necessariamente se passe de um nível a outro numa seqüência obrigatória, possibilitando a obtenção de uma infinidade de combinações de dados e comparações entre diferentes ações (SANTOS et al., 1997).

LÓGICA FUZZY E ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Dentro deste contexto, pelo menos dois paradigmas se apresentam para operacionalização computacional: o da álgebra booleana e a lógica *fuzzy*.

Na álgebra booleana, a combinação de mapas temáticos, representando as variáveis - físicas, ambientais, sociais ou quaisquer outras – é obtida com o uso de operadores condicionais. Cada tema é representado em um *layer* (plano de informação), combinados segundo uma seqüência lógica para dar suporte a uma hipótese ou proposição definida.

Para Meirelles (1997) as fronteiras rígidas do modelo booleano não permitem que os erros ou ambigüidades sejam medidos, o que impede considerar o grau de imprecisão existente nos dados utilizados.

A implementação computacional do Modelo Booleano está inserida no conceito de unidade-área (*unit-area*) de Hartshorne, geógrafo norte-americano, sendo esta a decomposição do espaço geográfico em unidades de paisagem com características próprias e individuais, classificadas a partir de critérios definidos pelo pesquisador, em função do objeto de estudo, escala e atributos físicos e bióticos. Tal abordagem é chamada de Geografia Idiográfica.

O entendimento das relações entre estas unidades leva ao zoneamento e a definição de unidades do espaço pelos pesquisadores e gestores, a partir da recuperação dos dados e sobreposição deles, tendo uma regra para tal. Em termos práticos, e sem a utilização da computação, equivaleria à sobreposição de mapas base sobre uma mesa de luz, gerando

um novo mapa síntese a partir da regra de cruzamento escolhida pelo pesquisador ou metodologia adotada.

A questão que se coloca na continuidade de estudos inseridos neste paradigma refere-se à natureza dos fenômenos e as características a serem cartografadas da realidade apreendida, já que os limites das classes temáticas serão estáticos ou rígidos, próprios da álgebra booleana.

Bonham-Carter (1994) salienta que na prática pode não ser apropriado atribuir igual importância para cada um dos critérios combinados, dado que as evidências precisam ser pesadas dependendo da sua relativa importância.

Para a Geografia Quantitativa, modelos e teorias que enfatizam fenômenos mensuráveis e estudos das distribuições espaciais (eventos, amostras e áreas) são construídos para o entendimento dos sistemas geográficos, e como Chorley e Hagget (1975) afirmam, devem ser verificados e validados com dados de campo a partir de técnicas estatísticas.

Neste sentido, Câmara e Monteiro (2001) afirmam que a expressão computacional da Geografia Quantitativa a se dá através da Inteligência Artificial, em áreas como redes neurais, autômatos celulares e lógica *fuzzy*, através da chamada Análise Multicritério.

Uma dos métodos mais utilizados para estudos de zoneamento ambiental da paisagem, que podem ser aplicados no planejamento urbano e regional, é a lógica *fuzzy*. Zadeh (1965) introduziu os conjuntos *fuzzy* para lidar com conceitos inexatos, a partir da constatação de que a qualidade da informação fornecida por modelos matemáticos tradicionais diminui ao ocorrer o aumento da complexidade no sistema.

Ferreira, Rocha *et al.* (2004) definem os conjuntos (ou classes) *fuzzy* como representações sem fronteiras (transições) abruptas, isto é, a transição entre a pertença (pertinência) e a não pertença (não pertinência) de uma localização num conjunto é gradual. Um conjunto *fuzzy* é caracterizado por uma possibilidade que varia entre 0.0 e 1.0 (ou 0 e 255), indicando um incremento contínuo da não pertença até à pertença completa.

Complementarmente, Moreira (2001) define tais conjuntos como uma forma de caracterização de classes temáticas, que por várias razões não têm ou não podem definir limites rígidos (contatos) entre si.

Assim como no Modelo Booleano, o Modelo *Fuzzy* possui operadores para a síntese da informação geográfica. Caso a abordagem fosse booleana, seria feita a utilização de operadores lógicos como OR (união) e AND (interseção).

No Modelo *Fuzzy*, ela se dá através da combinação segundo análises multicritérios, definidas através de uma sequência lógica realizada pelos operadores *fuzzy*, a saber: mínimo, máximo, média, ponderado (com o uso do Processo Analítico Hierárquico) e gama.

A partir de estudos comparando os Modelos Booleanos e *Fuzzy*, Burrough e McDonnell (1998) consideram que o primeiro está muito mais sujeito à propagação de erros, sendo que o segundo tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes, conforme a representação da figura 1.

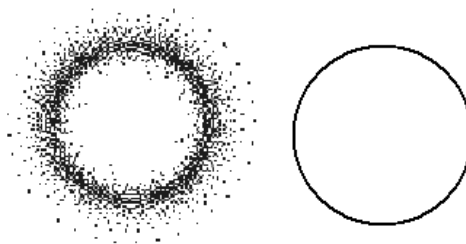


Figura 1 - Diagrama de Venn
(Representando as fronteiras de um conjunto *Fuzzy* (A) e Booleano (B))
Fonte: Burrough e McDonnell (1998)

Para a utilização da lógica *fuzzy*, deve-se ter em mente que este é um modelo, e assim sendo, é uma forma de se representar a realidade, tentando-se imitar ou reproduzir as ocorrências do mundo real. Assim, pode-se trabalhar a informação existente, fazer simulações e extrair novas informações que servirão na tomada de decisão.

Como modelo de análise, é necessária a escolha de metodologia adequada para cada situação, onde técnicas distintas geram mapas finais distintos.

Cox (1994) e Fang (1997) afirmam que um benefício significativo dos modelamentos baseados em lógica *fuzzy* é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se aproxima muito aos processos de decisão. Os sistemas de inferências baseados em lógica *fuzzy* possibilitam, assim, a captura do conhecimento próximo ao “modelo cognitivo” utilizado na análise de problemas. Isto significa que o processo de aquisição do conhecimento é mais fácil, mais confiável e menos sujeito a erros não identificados.

Posto isto, e adotando-se a análise multicritério, observa-se que há duas abordagens quanto à classificação de variáveis para análise ambiental e como integrá-las em um ambiente computacional.

Na primeira abordagem usada para classificação multicritério, as classes temáticas e pesos são definidos com base na experiência de pesquisadores, questionários de avaliação ou entrevistas, formas estas que ainda possuem forte carga de subjetividade. Observa-se que esta opção tem sido a mais adotada em trabalhos que procuram uma alternativa metodológica ao modelo booleano.

A segunda abordagem é baseada na definição de classes temáticas não pautadas somente na experiência ou em dados empíricos, mas com auxílio de operadores matemáticos, que possibilitam que as variáveis por si só se classifiquem em função de suas próprias características e relacionadas à localização geográfica. Tal visão pode ser também utilizada na definição dos pesos das variáveis das classes, por exemplo, da fragilidade ambiental de classes ecodinâmicas.

A utilização da análise multicritério, segundo Eastman (2001), é considerada um avanço significativo em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a definição de áreas de interesse, sendo uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão e a sua integração com os Sistemas de Informação Geográficas.

Conforme afirma Vilas Boas (2005) as abordagens multicritérios se constituem em formas de modelar os processos de decisão, onde entram em jogo: uma decisão a ser tomada, os eventos desconhecidos que podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. Estes modelos refletem, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos decisores. Seu objetivo, portanto, é ajudar ao gestor analisar os dados que são intensamente complexos no campo ambiental e buscar a melhor estratégia de gestão do meio ambiente.

De Pablo e Pineda (1985) discutem a análise multicritério afirmando que esta busca uma visão global ou de conjunto, o que evita a análise individualizada de temas ou aspectos físicos e sem suposições à priori sobre as variáveis que desempenharão papel importante na definição das zonas de atuação, detectando-se tendências de variação e grupos de variáveis espacialmente relacionadas.

Tais autores ainda afirmam que a automatização da análise cria a possibilidade de efetuar rapidamente aproximações para a descrição integrada do território e que a análise de diferentes variáveis temáticas se faz de forma integrada, podendo conhecer sua interdependência espacial em relação às unidades territoriais obtidas.

Para a integração dos fatores com base na abordagem multicriterial, vários métodos vêm sendo utilizados, como a Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* – WLC) e a Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Average* – OWA).

Voogd (1983) define a Combinação Linear Ponderada como sendo o método no qual os fatores são padronizados de acordo com uma escala numérica comum, recebem pesos e são combinados por meio de média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades que pode ser compartimentado em classes temáticas *fuzzy* (EASTMAN, 2001).

Este método, conforme salienta Torezan (2005), permite não apenas reter toda a variabilidade dos dados contínuos, mas oferece também a possibilidade dos parâmetros ambientais compensarem-se uns com os outros. Desta forma, um baixo valor de um determinado índice em uma variável para uma área qualquer pode ser compensado por um alto valor para outra variável.

A Média Ponderada Ordenada, segundo Yager (1988), diferencia-se da Combinação Linear Ponderada principalmente pela presença de um segundo grupo de pesos, denominados de pesos de ordenação (EASTMAN, 2001). Os pesos de fatores (Combinação Linear Ponderada), nesse método, são chamados de pesos de compensação (MALCZEWSKI, 1999).

Malczewski (2004) cita que, com o método da Média Ponderada Ordenada, tem-se a flexibilidade de assumir soluções que variam desde totalmente aversas a risco (operador de intersecção AND – um local deve atender a todos os critérios para ser incluído no conjunto de decisão) a totalmente arriscadas (operador de união OR – um local será incluído no conjunto de decisões se pelo menos um critério for atendido).

O método da Combinação Linear Ponderada é, por sua vez, formalizado por médias e, dessa maneira, suas soluções não serão nem arriscadas e nem aversas a risco, porque sempre estarão no meio dos extremos AND e OR (MALCZEWSKI, 2000).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como afirmam Cereda Junior e Röhm (2005), pode-se afirmar que a “era” dos Sistemas de Informações Geográficas há muito já se consolidou, atingindo o momento do avanço em modelos teórico-metodológicos de aplicação prática.

Para a operacionalização de metodologias que contemplem a análise do meio físico, o modelo booleano é hoje o mais utilizado, seja pela implementação de tais ferramentas nos softwares, seja pela facilidade de uso e acesso a informações. Entretanto, a utilização de tal modelo ocasiona a atribuição dos pesos de cada variável sob a ótica e experiência do pesquisador, tendo por resultado cartográfico regiões delimitadas com limites estáticos ou rígidos (CEREDA JUNIOR, 2006).

Em contraponto, no modelo *fuzzy* a atribuição de pesos é decorrente de resultados de técnicas de Suporte à Decisão. Além disso, as limitações inerentes aos limites rígidos próprios do modelo booleano são contornadas pelo modelo *fuzzy* através de superfícies de decisões numéricas que melhor se adaptam às transições gradativas entre as ocorrências representadas nos mapas temáticos.

Posto este contexto, ferramentas de suporte à tomada de decisão são importantes para a organização e estabelecimento de modelos racionais de combinação de dados.

A racionalidade é o conceito fundamental destas ferramentas, seguindo os indivíduos e organizações um comportamento de escolha entre alternativas, baseado em critérios objetivos de julgamento, cujo fundamento será satisfazer um nível preestabelecido de aspirações. (CORDEIRO et al. 2001).

A utilização da lógica *fuzzy* para geração de mapas é um tema ainda considerado novo no meio geográfico, devendo os pesquisadores se aproximarem, ocorrendo assim um salto qualitativo e quantitativo nos estudos de obras geotécnicas no que tange à interpretação e geração de produtos cartográficos para o entendimento e tomada de decisão sobre o meio físico.

Além disto, a busca da investigação em conjunto, entretanto, não deve ficar somente no plano teórico, mas sim modelar e, através de sistemas de informação, entender da melhor forma, o que vai ao encontro de Tommasi (1994), que afirma que alterações ambientais podem ser qualificadas e quantificadas, sendo ou não favoráveis ao ecossistema e à sociedade humana.

A Agenda 21 (ONU, 1992) - plano de ação para ser adotado global, nacional e localmente, por organizações do sistema das Nações Unidas, governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente - com suas bases conceituais pautadas na sinergia da sustentabilidade ambiental, social e econômica, apresenta no capítulo 10 o tema sobre abordagens integradas e transformadoras (Abordagem Integrada do Planejamento e do Gerenciamento dos Recursos Terrestres), onde é imprescindível adotar sistemas de planejamento e gerenciamento que facilitem a integração de componentes ambientais, adotar sistemas melhorados para a interpretação e a análise integrada de dados sobre o uso da terra e os recursos terrestres; aplicar sistematicamente técnicas e procedimentos que permitam avaliar os impactos ambientais, sociais e econômicos, bem como os riscos, custos e benefícios das ações específicas; analisar e testar métodos de inclusão das funções da terra e dos ecossistemas e dos valores dos recursos terrestres nas contas nacionais; fortalecer os sistemas de informação, observação sistemática e avaliação dos dados

ambientais, econômicos e sociais vinculados aos recursos terrestres nos planos mundial, regional, nacional e local, bem como o potencial produtivo da terra e as modalidades de uso e gerenciamento da terra; fortalecer a coordenação entre os atuais sistemas setoriais de dados sobre a terra e os recursos terrestres e reforçar a capacidade nacional de reunir e avaliar dados.

Portanto, a busca pela abordagem integrada, inserida num processo de planejamento com uso de sistemas de informação, bem como técnicas e procedimentos, insere-se na discussão da sustentabilidade, estando presente na Agenda 21 Global e tendo que ser resgatada nas Agendas 21 Locais.

Contudo, a presente pesquisa tem como objetivo principal o segundo viés apresentado por Meirelles (1997), que se constitui o desenvolvimento de uma metodologia constituída de procedimentos seqüenciais, que resultem na transformação das informações relativas aos fatores físico, econômico e social em um planejamento que possibilite a obtenção de um uso sustentável dos recursos da terra.

Para o desenvolvimento e aplicação de metodologias para avaliação do meio físico, métodos e técnicas devem ser levados em consideração. Entretanto, de nada servem se não estiverem embasadas numa forte carga conceitual. Por isto, a conceituação e entendimento da paisagem são imprescindíveis para a completa compreensão do ambiente, não só se pautando em resultados técnico-operacionais.

BIBLIOGRAFIA

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Oxford: Pergamon, 1994.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIES, C., *et al* (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIES, C., *et al* (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CEREDA JUNIOR, A. **Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Ribeirão do Monjolinho - São Carlos - SP - utilizando ferramentas de geoprocessamento**. 2006. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, UFSCar, São Carlos.

CEREDA JUNIOR, A.; RÖHM, S. A. Carta de Fragilidade Ambiental utilizando Sistemas de Suporte à Decisão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XI, 2005. São Paulo. **Anais...** XI: Departamento de Geografia, FFLCH-USP, 2005.

CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos / EDUSP, 1975.

CHRISTOFOLETTI, A. A aplicação da abordagem em sistemas na Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 2, p. 21-36, 1990.

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G. Álgebra de Mapas. In: CÂMARA, G.; DAVIES, C., *et al* (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

COX, E. **The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using and maintaining Fuzzy Systems**. London: Academic Press, 1994.

DE PABLO, C. L.; PINEDA, F. D. Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica. Ensayo preliminar en la provincia de Madrid Simpósio de Recursos Hídricos. **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**, Madri, n. 5, p. 236-260, 2005 1985.

DIAS, J. **As potencialidades paisagísticas de uma região cárstica: o exemplo de Bonito, MS**. 1998. Dissertação (Mestrado) Departamento de Geografia, UNESP - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: CLARK UNIVERSITY (Ed.). **Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark Labs, v.2, 2001. p.22.

FANG, J. H. Fuzzy logic and geology. **Geotimes - News and Trends in Geoscience**, v. 42, p. 23-26, 1997.

FERREIRA, J. C. et al. Ensaio de Delimitação de Corredores Verdes na Área Metropolitana de Lisboa: Integração de dados fuzzy através da análise multi-critério. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, VIII., 2004. Oeiras. **Anais...** Oeiras - Portugal, 2004.

GARCIAS, C. M. As Questões Ambientais Urbanas. **Revista Acadêmica**, v. 2, n. 8, p. 3-8, 1997.

GRINOVER, L. O Planejamento Físico-Territorial e a Dimensão Ambiental. **Cadernos FUNDAP**, v. 16, n. 9, p. 25-32, 1989.

LACOSTE, Y. **A Geografia - isso serve, em primeiro lugar para fazer a guerra**. Campinas: Papirus, 1988.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362p.

_____. On the use of Weighted Linear Combination method in GIS: common and best practice approaches. **Transactions in GIS**, v. 4, n. 1, p. 5-22, 2000.

_____. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, v. 62, n. 1, p. 3-65, 2004.

MARTINELLI, M. A Cartografia de Síntese na Geografia Física. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XI., 2005. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Departamento de Geografia, FFLCH-USP, 2005.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A Cartografia das Unidades de Paisagem: Questões Metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 1, n. 14, 2001.

MEDEIROS, J. S.; CÂMARA, G. GIS para Estudos Ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIES, C., *et al* (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

MEIRELLES, M. S. P. **Análise integrada do ambiente através de Geoprocessamento – uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. 1997. Tese (Doutorado) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MONTEIRO, C. A. F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas urbanas e agrárias do problema da elaboração de modelos de avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE A COMUNIDADE VEGETAL COMO UNIDADE BIOLÓGICA, T. E. E., 1978. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1978.

MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; LUCHIARI, A. O Geoprocessamento como Subsídio ao Estudo da Fragilidade Ambiental. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2003. **Anais...** 2003.

MOREIRA, F. R. S. **Uso e Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas**. 2001. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ONU. **Agenda 21 Global**. CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente 1992.

RIBAS, O. **A sustentabilidade das cidades: os instrumentos da gestão urbana e a construção da qualidade urbana**. 2002. Tese (Doutoramento) CDS, Universidade de Brasília, Brasília.

RODRIGUES, C. A. Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos Geográficos e Ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 14, p. 69-77, 2001.

SACHS, I. **Espaços, Tempos e Estratégias do Desenvolvimento**. São Paulo: Ed. Vértice, 1986.

SANTOS, R. F.; CARVALHAIS, H. B.; PIRES, F. Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas. **Caderno de Informações Georreferenciadas**, v. 1, n. 2, 1997.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. **Métodos em Questão**, São Paulo, n. 16, 1977.

TOMMASI, L. R. **Estudo de impacto ambiental**. São Paulo: CETESB/Terragraph Artes e Informática, 1994.

TOREZAN, F. E. **Proposta metodológica para subsidiar a determinação do grau de impacto ambiental em empreendimentos minerários na região de Descalvado e Analândia**. 2005. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

TUAN, Y.-F. **Topofilia: Um Estudo da Percepção, Atitudes e Valores de Meio Ambiente**. São Paulo: Difel/Difusão Editorial S/A, 1980.

VILAS BOAS, C. L. D. Análise da aplicação de métodos multicritérios de decisão na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI., 2005. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 125p.

YAGER, R. R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 18, n. 1, p. 183-190, 1988.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353, 1965.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, bolsa de doutorado, processo número 06/07069-2.