

Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental.

Eder Mileno Silva de Paula ¹
Marcos José Nogueira de Souza ²

^{1,2} Universidade Estadual do Ceará – UECE/MAG.
Campus do Itaperi - 60740-903 - Fortaleza - CE, Brasil
edermileno@gmail.com
mestgeo@uece.br

Abstract. Motivated by the concern of natural goods forms of use, studies such as the Environmental Zoning have been developed. These kinds of studies consider conditional zones to a model of use of the ground and capacity of the environment. The purpose of this paper is to discuss the use of the Fuzzy Logic as category of Space Analysis, in support to the analysis and integration of the criteria of the Environmental Zoning, revealing the methodology way that crosses the use of the Fuzzy Logic in this study.

Palavras-chave: fuzzy logic, environmental zoning, geoprocessing, lógica fuzzy, zoneamento ambiental, geoprocessamento.

1 – Introdução

A humanidade, nos tempos atuais, possui a capacidade de influenciar decisivamente na natureza, fato que segundo Dorst (1924), ao refletir sobre a humanidade, produz profundas mudanças “em seu habitat, muito maior do que qualquer espécie animal, e, por vezes, num sentido desfavorável aos equilíbrios naturais e aos seus próprios interesses, a longo prazo”. Porém com o crescente aumento da preocupação com os bens naturais, criaram-se métodos, normas, leis, dentre outros estudos ambientais, que tentam restringir e/ou mitigar os impactos ambientais, buscando a sustentabilidade do ambiente.

Zoneamentos Ambientais enquadram-se no contexto desses estudos ambientais, com um método que propõe zonas condicionadas a um modelo de uso, e de acordo com a capacidade de suporte do ambiente, a vulnerabilidade ambiental.

O avanço técnico-científico do Geoprocessamento e dos Sistemas de Informações Geográficas-SIG permitiu a avaliação de situações ambientais com uma precisão adequada e com economia apreciável do esforço humano na coleta e reorganização dos dados, e especificamente os Zoneamentos Ambientais obtiveram novas possibilidades de Análises Espaciais dos critérios utilizados para a delimitação das zonas.

Discutir-se-á neste artigo a utilização da categoria de Análise Espacial, Lógica Fuzzy, que Silva (2001) classifica como uma estrutura lógica de análise e integração de critérios, como método de apoio em Zoneamentos Ambientais.

2 – Zoneamento Ambiental

O Zoneamento Ambiental pode ser considerado como a definição de setores ou zonas com objetivos de manejo e normas específicas, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos de conservação da natureza possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz.

Para Brasil (1991), elaborar um Zoneamento consiste em dividir uma área em parcelas homogêneas, com características fisiográficas e ecológicas semelhantes, nas quais se autorizam determinados usos e atividades e se interdita outros.

O Zoneamento Ambiental deve ser visto como um instrumento cuja finalidade é auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento a serem implementadas em um determinado território.

Alguns pontos julgados relevantes devem ser almejados na elaboração do Zoneamento, conforme Becker e Egler (1996) seriam:

- a) Representar instrumento técnico de informações sobre o território, necessária para a sua ocupação racional e o uso sustentável dos recursos naturais;
- b) Prover uma informação integrada em uma base geográfica;
- c) Classificar o território de acordo com a sua capacidade de suporte ao uso e ocupação.
- d) Ser condicionante de planejamento e de gestão para o desenvolvimento em bases sustentáveis, colocando-se como instrumento corretivo e estimulador desse desenvolvimento.

Segundo Brasil (1991), o Zoneamento Ambiental possui vantagens por:

- a) Permitir que se determine limite de possíveis irreversibilidades, devido a conflitos ambientais e pontos de fragilidade biológica, antes que se tomem decisões sobre o uso de cada área, que de outra forma poderiam causar danos irreversíveis; tendo portanto, caráter preventivo;
- b) Identificar as atividades antrópicas para cada setor da unidade Ambiental e seu respectivo manejo, possibilitando a descentralização de comando e decisão; e
- c) Pelo fato da metodologia do Zoneamento Ambiental ser flexível, permite que se adapte a definição e manejo de uma zona.

Zoneamento Ambiental constitui-se, assim, em um instrumento aos gestores e a todas as demais partes envolvidas, investidores, empresários, trabalhadores, mercados, Poder Público, etc., que busquem o desenvolvimento em bases sustentáveis.

3 – Lógica Fuzzy

Criada por Lofti A. Zadeh no início de 1960, as primeiras aplicações da lógica *Fuzzy* datam de 1974, sendo-a hoje aplicada nas ciências ambientais, medicina, engenharia e em outras ciências.

A lógica ou possibilidade *Fuzzy* está contida na categoria de análises algébricas de mapas não cumulativas ou análises lógicas, junto com a simultaneidade Booleana e a probabilidade Bayesiana. Os produtos gerados por essa categoria de análise são mapas integrados, ao invés de mapas fundidos gerados pela álgebra de mapas cumulativos.

Conforme Katinsky (1994) a lógica *Fuzzy* pode ser definida como “a parte da lógica matemática dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural”.

Silva (2001) referindo-se aos componentes naturais comenta que “os limites entre superfícies contínuas não ocorrem bruscamente na grande maioria das vezes”. Assim, quando da diferenciação de relevo suave e íngreme, percebe-se uma gradual passagem de uma característica para a outra, por vezes não ocorrendo essa mudança com brusquidão, criando-se áreas ambíguas.

A Lógica *Fuzzy* fora concebida “para estudar as regiões onde se instalam as incertezas” Silva op cit, como também em regiões não ambíguas. As ambigüidades contidas nos componentes deixam de ser colocadas à margem do processo de análise.

Os dados são transformados para um espaço de referência e processados por combinação numérica através da Lógica *Fuzzy*, obtendo-se uma superfície de decisão, onde se classifica em áreas mais ou menos adequadas para uma finalidade. Este tipo de classificação ocorre em várias aplicações e em Zoneamentos Ambientais.

4 – Metodologia de Execução

De forma geral, os Zoneamentos Ambientais e outros estudos que têm em sua metodologia de análise espacial o apoio da Lógica *Fuzzy* permeiam os seguinte caminho metodológico, a saber: Instituição, padronização e ponderação dos critérios.

4.1 – Instituição dos Critérios

Conforme Weber e Hasenack (2003),

“um critério é uma base mensurável e avaliável para uma decisão, e pode constituir um fator ou uma restrição. Restrições são aqueles critérios que cerceiam ou limitam a análise em foco a regiões geográficas específicas, constituindo-se normalmente mapas *booleanas* com classes do tipo apto/ não apto.(...) Fatores, por outro lado, são critérios que definem alguns grau de aptidão para a área considerada”. (Figura 1)

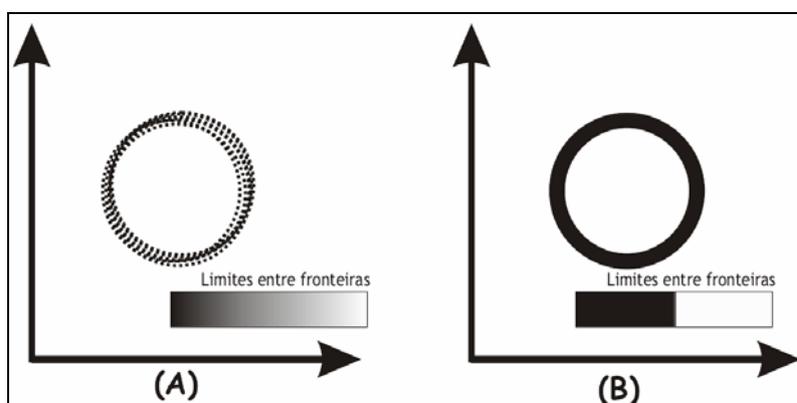


Figura 1 – Diferença entre a Fronteira *Fuzzy*(A) e Booleana(B). Fonte: Modificado de Ruhoff(2004).

Mesmo considerando neste artigo somente os critérios de limitação relativa (Fatores), não se descartam a hipótese de existir em determinado Zoneamento Ambiental critérios restritivos, em virtude de especificidades do local.

Ruhoff (2005) no Zoneamento Ambiental da Bacia do Arroio Grande com a Lógica *Fuzzy* fazendo parte da metodologia, que tem como base método de pesquisa difundida por Jean Tricart e Jurandyr Ross, institui para o estabelecimento do Zoneamento Ambiental os seguintes critérios: Uso da Terra, Declividades, Formações Geológicas e Formações Litológicas. O especialista, de acordo com método utilizado, poderá acrescentar ou suprimir os critérios acima citados, enfatizando-se com isso a importância de existir um método sólido de análise.

4.2 – Padronização dos Critérios

A necessidade de padronização das variáveis deve-se ao fato de cada mapa possuir uma unidade temática diferente. Assim, a padronização permite que as unidades dos mapas tenham uniformidade.

A padronização aqui destacada não está em detrimento das especificidades dos componentes ambientais, mas pretende relacionar as características de cada componente a uma determinada categoria de análise. Assim, critérios de cunho qualitativo transformaram-se em quantitativos, permitindo-se realizar operações algébricas.

Cada critério será escalonado setorialmente de acordo com a categoria de hierarquização, e na Ponderação dos Critérios, fase metodológica seguinte, os critérios serão integrados.

Encontra-se no **Quadro 1** exemplo de hierarquização de Classes de Declividades, quanto à importância de cada classe para o processo erosivo, que indica a intensidade da vulnerabilidade ambiental utilizada por Ross (1994).

Quadro 1 - Importância das Classes de Declividade nos Processos erosivos. Fonte: Ross(1994)

Categorias Hierárquicas	Classes de Declividade
Muito Fraco	Até 6%
Fraco	De 6% a 12%
Médio	De 12% a 20%
Forte	De 20% a 30%
Muito Forte	Acima de 30%

4.3 – Ponderação dos Critérios

Oliveira et al (2005) comenta que a

“tomada de decisão consiste em um procedimento que combine os critérios que serão avaliados para o objetivo proposto, atribuindo-se pesos aos critérios envolvidos, e com o auxílio de métodos estatísticos, efetua-se uma análise espacial, de forma que pondere a participação de cada uma das variáveis envolvidas no processo.”

Mesmo existindo a possibilidade de outros métodos Fuzzy, como o Mínimo-máximo, Média e o Gama, argumenta-se sobre o Fuzzy Ponderado, por ter uma modelagem simples e de fácil aplicação, bem como pela adaptação dos objetivos de Zoneamentos Ambientais.

4.3.1 – Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Quanto cada critério contribui na tomada de decisão? Thomas Saaty(1978) ao se deparar com tal questionamento propôs uma técnica baseada na lógica de comparação pareada, denominado de Processo de Análise Hierárquica-AHP.

Segundo Câmara et al (2001)

“o Processo AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências e probabilidade, entre dois critérios”.

Os fatores são comparados dois-a-dois, atribuindo ao relacionamento um critério de importância, conforme escala pré-definida. Essa relação pretende capturar o conhecimento do especialista, que indicará o grau de importância relativo entre aos critérios comparados. A título de exemplo, identifica-se no **Quadro 2** a escala de valores usada pelo Sistema de Processamento de Informações Georeferenciados-SPRING, versão 4.2.

Quadro 2 - Escala de Valores AHP para comparação pareada. Fonte: Modificado do Tutorial do SPRING4.2

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais.

As relações dos fatores e seus pesos são baseados no método utilizado no Zoneamento Ambiental.

5 – Considerações

A capacidade do SIG em realizar avaliações complexas em grandes extensões territoriais permite avaliar situações ambientais com uma precisão adequada e com economia apreciável do esforço humano na coleta e reorganização dos dados. Porém para que exista melhor confiabilidade sugere-se que haja levantamentos mais detalhados, pois os resultados dependem diretamente dos mesmos.

Ruhoff (2005) comenta que a Lógica Fuzzy “supera tecnicamente o processo de intersecção de conjuntos espaciais, como as operações booleanas de mesma ordem de grandeza”.

O resultado alcançado com a Lógica Fuzzy constitui-se uma superfície de aptidão continua à qual pode se aplicada um limiar, para a seleção de áreas mais vulneráveis ou menos vulneráveis a determinados usos e ocupações da terra. Proporcionando ao especialista uma maior flexibilidade na tomada de decisão.

Percebe-se que a Lógica Fuzzy vem cada vez sendo utilizada no suporte a análise e integração de critérios em Zoneamento Ambiental como em outros estudos de cunho ambiental, fato que promove subtração de possíveis erros, difusão da técnica e melhoria no uso da mesma.

Referências

Artigo em Revista:

Câmara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics. "**SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**"- 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia (USP)**.(6): 63 – 74. 1994.

Livro:

Becker, B. K.; Egler, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília. SAE-Secretaria de Assuntos Estratégicos/ MMA-Ministério do Meio Ambiente. 1996.

Câmara, G. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2001.

Dors, Jean. 1924 – **Antes que a natureza morra: uma ecologia política**; Tradução, Rita Burigermino. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973.

Silva, Ardemirio de Barros. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos**. Campinas,SP: Editora da UNICAMP,2003.

Silva, Jorge Xavier da. **Geoprocessamento para análise Ambiental**. Rio de Janeiro: 2001. 228p.; 23cm.

Tese:

Katinsky, M. (1994) **Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems**. MsC Thesis, University of Wisconsin-Madsin, USA.

Ruhoff, A. L. **Gerenciamento de recursos hídricos – Modelagem ambiental com simulação de cenários preservacionistas**. Dissertação (Mestrado em Geomática). Santa Maria: UFSM, 2004.

Souza, Marcos J. N. **Geomorfologia e Condições Ambientais dos Vales do Acaraú - Coreaú (CE)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Ed. do Autor, 1981.

Eventos:

Oliveira, Oscar Oséias de. Albuquerque Junior, Fernando Saboya. Alves, Maria da Glória. Vieira, Maria Eliane. **Uso de técnicas de geoprocessamento para identificar áreas susceptíveis ao escorregamento na região de Campos dos Goytacazes-RJ**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 de abril de 2005, INPE, p.3191-3198.

Ruhoff, Anderson Luis. Souza, Bernardo Sayão Penna. Giotto, Enio. Pereira, Soares Rudiney. **Lógica Fuzzy e Zoneamento Ambiental da Bacia do Arroio Grande**. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 de abril de 2005, INPE, p.2355-2362.

Weber, Eliseu José. Hasenack, Heinrich. **O uso do geoprocessamento no suporte a projetos de assentamentos rurais: Uma proposta metodológica**. X Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – X COBREAP- 2003.

Relatórios Técnicos:

Brasil. EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Nordeste: Diagnóstico do Quadro Natural e Agrosocioeconômico. V.2.EMBRAPA/CPATSA.Petrolina (PE), 1991.

Referências de Internet:

Manual do Usuário do SPRING 4.2. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>>. Acesso em: 15 jan. 2006.