

Modelagem *Fuzzy* Aplicada à Análise da Paisagem: Uma proposta para o diagnóstico ambiental participativo

Fuzzy Modelling applied to the Analysis of Landscape: A proposal for participatory environmental assessment

Lucirene Vitória Góes França

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

lucirene.franca@posgrad.sorocaba.unesp.br

Adriano Bressane

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

adriano.bressane@posgrad.sorocaba.unesp.br

Fabio Nowak da Silva

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

sohfab@gmail.com

Afonso Peche Filho

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

peche@iac.sp.gov.br

FRANÇA, Lucirene V. G.; BRESSANE, Adriano; SILVA, Fabio N.; PECHE FILHO, Afonso; MEDEIROS, Gerson A.; RIBEIRO, Admilson I.; ROVEDA, José A. F.; ROVEDA, Sandra R. M. M.. Modelagem Fuzzy Aplicada à Análise da Paisagem: Uma proposta para o diagnóstico ambiental participativo. *FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, Anápolis-Goiás, v.3, n.3, jul.-dez. 2014, p.124-141.

Resumo

O presente artigo tem a finalidade de mostrar a utilização da Lógica *Fuzzy* como ferramenta de inferência no suporte à decisão em análises da paisagem. Para tanto, foi criado um modelo matemático visando expressar de forma mais realista a condição ambiental da paisagem. Por meio da construção de um índice *fuzzy* de qualidade ambiental para a paisagem, contemplando os meios físico, biótico e antrópico, bem como critérios de ponderação (severidade, significância e magnitude), foi possível articular um método de avaliação das ações antrópicas prejudiciais ao meio ambiente, que muitas vezes são tratadas de forma subjetiva, pela presença de incertezas e ponderações pessoais. Esse sistema de informação, aprimorado com o índice *fuzzy*, foi desenvolvido e aplicado em estudos realizados na bacia hidrográfica do rio Jundiá-Mirim, mostrando-se importante para gestão estratégica, com potencial de uso para mobilização social, ao possibilitar diagnósticos ambientais participativos.

Palavras-Chaves: Paisagem; *Fuzzy*; Rio Jundiá-Mirim.

Abstract

This paper aims to show the use of fuzzy logic as inference tool to decision support in analyzes of the landscape. For this, was created a mathematical model in order to express more realistically the environmental condition of the landscape. Through the construction of

Gerson Araujo de Medeiros

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

gerson@sorocaba.unesp.br

Admilson Irio Ribeiro

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

admilson@sorocaba.unesp.br

José Arnaldo Frutuoso Roveda

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

roveda@sorocaba.unesp.br

Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda

Pós-graduação em Ciências Ambientais - Universidade Estadual Paulista - Sorocaba/ Brasil

sandra@sorocaba.unesp.br

a environmental quality fuzzy index for the landscape, with emphasis on physical, biotic and social environments, as well as weighting criteria (severity, significance and magnitude), it was possible to articulate a method to evaluation harmful human actions to the environment, which are often subjectively treated, by the presence of uncertainty and personal considerations. This information system, enhanced with the fuzzy index has been developed and applied to study in river watershed Jundiáí–Mirim, is showing important to strategic management, with potential uses for social mobilization, to enable participatory environmental assessment.

Keywords: Landscape; Fuzzy; Jundiáí-Mirim River.

Devido a origem e a diversidade de terminologias, uma definição para paisagem pode ser complexa, mas para fins de estudo e análises ambientais, a paisagem poderia ser entendida como a extensão de território que se abrange num lance de vista (Aurélio 2013), sendo esta a abordagem pretendida no desenvolvimento deste trabalho.

Considerando sua importância como recurso ambiental, a paisagem passou a ser objeto de análise nas etapas de planejamento, sobretudo para fins de diagnóstico em processos de avaliação de impactos ambientais e recuperação de áreas degradadas, entre outras aplicações (Pires 1993), como a análise de viabilidade locacional para empreendimentos e para fins de ordenamento do uso e ocupação territorial.

Para tanto, métodos com esta finalidade têm se apoiado na análise visual da paisagem como ferramenta de investigação qualitativa para o levantamento de informações (Marenzi 1996), sobretudo para diagnósticos expeditos apoiados em protocolos de técnicas como a avaliação ambiental rápida, que não requerem levantamentos de amostras para fins de análise quantitativa de atributos (Callisto et al. 2002).

Logo, constata-se um grande potencial desta ferramenta como estratégia aplicada ao diagnóstico ambiental participativo, uma vez que pode ser baseada na percepção ambiental da população, cujo o envolvimento é fundamental para o alcance de mecanismos mais adequados para atendimento das demandas sociais e econômicas, sobretudo, através da conscientização e respectiva adoção de práticas conservacionistas.

Assim, a percepção das pessoas que vivem nas localidades avaliadas é um importante indicador no qual se pode apoiar a identificação de prioridades, bem como a qualidade e confiabilidade da informação que visa gerar indicadores satisfatórios sobre a situação local (OPAS 1996), dando suporte as políticas governamentais, sobretudo, para gestão estratégica e sustentável do território.

Dessa forma, ao avaliar a satisfação, necessidades, interesses e anseios da sociedade, a análise da paisagem baseada na percepção ambiental da população pode e deve ser considerada importante para definir pautas de intervenção ao reforçar a legitimidade das ações públicas, atenuando as inquietações dos planejadores, cujas proposições estarão mais próximas das expectativas da comunidade (Castello 1996).

Afinal, a população residente na área e suas imediações a conhece mais profundamente do que qualquer técnico ou agente do governo, seu número torna-a mais penetrante do que a maior agência governamental, pois esta trabalha, transita e vive no ambiente objeto da análise (Vasconcelos et al. 2006), logo, deveria constituir agente indispensável nos processos de diagnóstico e proposição de medidas de proteção e recuperação da qualidade ambiental.

Em consonância, mais do que gerar conhecimento sobre a área em estudo, o diagnóstico participativo permite que a comunidade conscientize-se de suas próprias necessidades e das dificuldades inerentes à sua solução (Hofmeister 2002), sensibilizando-se, engajando-se e mobilizando-se para assumir seu papel enquanto agente de transformação da realidade.

Entretanto, a avaliação visual da paisagem envolve um exercício de memória associativa, gerando uma tendência subjetiva oriunda da educação recebida, atitudes afetivas e gostos adquiridos, que se manifestam quando um indivíduo percebe a paisagem e emite um juízo de valor sobre esta (Laurie 1975), assim, influenciado por questões inerentes ao seu histórico de vida e experiências passadas, que são únicas/particulares para cada pessoa.

Desse modo, cada um percebe aquilo com que se preocupa, que está habituado, conforme reflexos de sua herança cultural, gostos e preferências pessoais, sendo que a percepção depende da psicologia individual, da cultura aprendida, de influências socioeconômicas e da originalidade biológica (Bailly 1973), sobre o comando da qual estão fatores sujeitos ao sortilégio de interferências inerentes a sua composição genética.

Neste horizonte, atualmente vive-se numa sociedade saturada por riscos diversos, na qual o ser humano prioriza suas necessidades fundamentais, de modo que a importância atribuída a certo

problema está relacionada às expectativas e ao que se considera ou não como negativo e com qual prioridade no enfrentamento dos desafios cotidianos (Ribas & Graemel 2009).

Contudo, a importância do diagnóstico participativo não diminui o desafio de implementá-lo, sendo necessário o desenvolvimento de ferramentas capazes de equacionar adequadamente as incertezas e imprecisões intrínsecas à análise visual da paisagem, significativamente influenciada pelas questões antes discutidas, no que se refere a percepção ambiental da população.

Neste sentido, identifica-se a possibilidade de uma abordagem apoiada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, especificamente, com apoio na aplicação da Lógica *Fuzzy*, desenvolvida com a finalidade de um tratamento matemático mais adequado para modelagem de fenômenos complexados pela subjetividade (Barros & Bassanezi 2006), como os casos envolvendo as características descritas no processo perceptivo.

Assim, a Lógica *Fuzzy* têm possibilitado superar limitações da modelagem clássica, para a formulação e solução de problemas complexos pela subjetividade relacionada (Kandel 1986), sobretudo para elaboração de instrumentos de apoio à decisão, como pode ser observado nos estudos de Menezes et al. (2013), Canavese et al. (2012), Janssen et al. (2010), Kahraman & Kaya (2010), Lermontov et. al. (2009); Gabriel Filho et. al. (2009); Icaga (2007), Ylmaz (2007), Mendoza & Prabhu (2003), Riedler & Jandl (2002) e Cornelissen et al. (2001), entre outros.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma modelagem *fuzzy*, mais precisamente o uso de sistemas de inferência *fuzzy* para análise visual da paisagem, com potencial de aplicação para fins de diagnóstico ambiental participativo, ou seja, com a participação de especialistas e membros da comunidade local (moradora ou trabalhadora da área objeto de estudo).

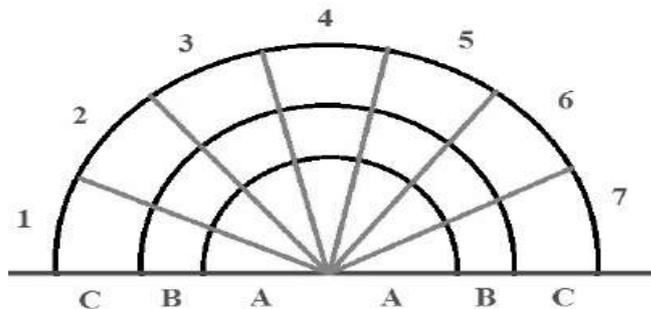
Materiais e Métodos

Aspectos metodológicos aplicados a análise da paisagem

A aplicação do método proposto é baseado em três etapas principais, sendo as quais: (1) a segmentação da paisagem e análise visual; (2) a atribuição de valores de ponderação a partir da condição avaliada; (3) e o cálculo do índice de qualidade ambiental para paisagem.

A análise da paisagem é realizada mediante a segmentação do plano de visada do observador (vista panorâmica com alcance de cento e oitenta graus - 180°), com relação a três distâncias focais definidas (A, B e C) e que correspondem aos horizontes próximo, intermediário e distante, respectivamente, como ilustrado na Figura 1, apresentada a seguir.

Figura 1. Plano de segmentação para a análise visual da paisagem.



Fonte: Elaborado a partir de Medeiros et al. 2013.

A partir dessa segmentação é elaborada uma matriz correlacionando a distância focal (horizontes A, B e C) e o segmento angular ou visada (numerados como 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7), gerando, deste modo, 21 (vinte e uma) cenas analisadas individualmente (A1, A2, A3, ..., A7, B1, B2, B3, ..., B7, C1, C2, C3, ..., C7), que compõem a matriz de análise, ilustrada na Figura 2.

Figura 2. Matriz de análise da paisagem.

Visada	Distância	Severidade			Magnitude			Significância			TOTAL
		Físico	Biótico	Antropico	Físico	Biótico	Antropico	Físico	Biótico	Antropico	
1	A										
	B										
	C										
2	A										
	B										
	C										
3	A										
	B										
	C										
4	A										
	B										
	C										
5	A										
	B										
	C										
6	A										
	B										
	C										
7	A										
	B										
	C										
TOTAL											

Fonte: Elaborado a partir de Medeiros et al. 2013.

Após a segmentação da paisagem, são definidos para cada segmento os seguintes critérios de ponderação (Medeiros et al. 2013), definidos para efeito de aplicação do método como:

Lucirene Vitória Góes França; Adriano Bressane; Fabio Nowak da Silva; Afonso Peche Filho; Gerson Araujo de Medeiros; Admilson Irio Ribeiro; José Arnaldo Frutuoso Roveda; Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda

- Severidade: relacionada a uma impressão negativa causada pelo estado de cada meio (antrópico, físico e biológico), atribuindo-se a nota 1 (condição boa), nota 5 (condição média) e nota 10 (condição ruim);

- Magnitude: corresponde a abrangência espacial na paisagem dos diferentes meios, atribuindo-se a nota 1 (baixa área ocupada), nota 5 (condição intermediária) e nota 10 (grande área ocupada);

- Importância para a gestão: indica o quanto aquela área demandará uma atenção na gestão ambiental da paisagem visando reverter uma situação negativa, sendo atribuídas três notas: nota 1 (baixa importância), nota 5 (média importância), nota 10 (alta importância).

Os meios avaliados em cada segmento de paisagem, com relação à tais parâmetros (severidade, magnitude e importância) para a gestão foram organizados por compartimentos, sendo os quais:

- Meio antrópico: correspondente à intervenção do homem na paisagem, como a presença de construções, condomínio residencial, indústrias, estradas, de corte e aterro dos terrenos, de atividades mineradoras, de agricultura e pecuária, de ocupação irregular, etc.;

- Meio físico: correspondente aos recursos naturais relacionados aos componentes naturais abióticos como o solo, relevo, água e o ar; e

- Meio biótico: correspondente a diversidade biológica (fauna, flora e ecossistema) e a ecologia local, como a presença de áreas de remanescentes florestais e a presença de animais.

Para análise decorrente do processo de diagnóstico participativo, os valores utilizados são as notas atribuídas tanto por especialistas quanto por membros da comunidade existente na área objeto de avaliação visual da qualidade da paisagem.

Com base nos critérios apresentados, o método convencional (baseado na lógica clássica ou booleana) propõe à geração de um índice de qualidade ambiental da paisagem por meio das seguintes equações (Medeiros et al. 2013):

$$b = 1 - \frac{NP}{NMax} \quad (1)$$

em que b é um índice relativo à condição ambiental da paisagem (adimensional); NP é a nota atribuída a cada segmento da paisagem (adimensional); $NMax$ é a máxima nota que poderia ser atribuída a cada elemento de paisagem analisado (adimensional). Admite-se $b \neq 0$, pois essa

condição corresponderia a uma área completamente degradada e, nesse caso, a intervenção deixaria de ser de mitigação e ou compensação e passaria a ser de recuperação.

Na sequencia, um coeficiente de qualidade é calculado baseando-se em uma condição idealizada, ou seja, em que todos os segmentos de paisagem recebessem uma nota mínima que representa a melhor condição possível para todos os atributos avaliados. Nessa condição teríamos o valor máximo para b (b_{max}).

$$CQ = \frac{b}{b_{max}} \times 100 \quad (2)$$

em que CQ é o coeficiente relativo de qualidade ambiental (porcentagem), b_{max} é o valor máximo do índice relativo à condição ambiental da paisagem, com base nos atributos definidos para a análise (adimensional).

Considerando a escala de ponderação e o número de células presentes na matriz de análise da paisagem, o valor da situação idealizada alcançaria um valor de 189, uma situação mediana 945 e uma situação negativa do ponto de vista ambiental alcançaria 1890.

Apesar dos méritos do método convencional, conforme apresentado, a lógica clássica no qual este se apoia possui limitações em relação ao tratamento adequado das questões inerentes a subjetividade, incertezas e imprecisões envolvidas no processo de percepção da população, nem tão pouco para tratar a percepção dos próprios técnicos integrantes da equipe avaliadora da paisagem, devido a natureza do método.

Modelagem com uso da Lógica fuzzy

Os Sistemas *Fuzzy* são processos de inferência baseados em regras *fuzzy* que podem ser aplicados como controladores que geram como saída ações recomendadas a partir de um estado ou condição avaliada (Shaw & Simões 2001), envolvendo quatro etapas principais: a fuzzificação; a construção da base de regras; a inferência; e a defuzzificação.

Nestes sistemas, a modelagem das variáveis em conjuntos *fuzzy* com seus respectivos domínios, proposição de termos linguísticos e funções características compõem a etapa de fuzzificação. Nestes sistemas, os conjuntos de entrada correspondem aos critérios de interesse para avaliar o fenômeno estudado, e as saídas equivalem ao diagnóstico segundo tais critérios.

Para construção da base de regras modela-se o relacionamento entre tais conjuntos, através de conectivos lógicos que equacionam valores de pertinência calculados através de funções características (μF), expressas pela Equação 3:

$$\mu F = X \rightarrow [0,1] \quad (3)$$

onde X denota um conjunto universo clássico e F um conjunto *fuzzy*, subconjunto de X .

Para cada $x \in X$, o valor $\mu F(x)$ indica o grau de pertinência do elemento x no conjunto *fuzzy* F , sendo que para $\mu F(x) = 0$, x não pertence ao conjunto e $\mu F(x) = 1$ indica que x pertence plenamente, sendo os valores intermediários indicadores de pertinências parciais, sendo a escolha da função de pertinência (μF) e sua forma definidos a critério do especialista, entre as quais a forma trapezoidal, adotada neste estudo (Equação 4):

$$\mu F(x) = \begin{cases} (x - a)/(b - a) & \text{se } a \leq x < b; \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c; \\ (d - x)/(d - c) & \text{se } c < x < d; \\ 0 & \text{caso contrário.} \end{cases} \quad (4)$$

onde a , b , c e d são os parâmetros descritivos dos números *fuzzy* que modelam os conjuntos de entrada e saída do sistema.

No processo de inferência são utilizados conectivos t-norma e t-conorma, para estabelecer a relação *fuzzy* na modelagem matemática da base de regras, tal como no Método de Mandani que segue o procedimento (BARROS e BASSANEZI, 2006): em cada regra j a condição “se x é A_j então u é B_j ” é modelada pela aplicação da t-norma \wedge (mínimo); adota-se a t-norma \wedge (mínimo) para o conectivo “e”; e a t-conorma \vee (máximo) para “ou”.

Assim, sendo F_j e G_j subconjuntos *fuzzy* da regra j , o Método de Mandani estabelece uma relação *fuzzy* R , cuja função de pertinência é dada pela Equação 5:

$$\varphi_R(x, u) = \max_{1 \leq j \leq r} (\varphi_{R_j}(x, u)) = \max_{1 \leq j \leq r} [\varphi_{F_j}(x) \wedge \varphi_{G_j}(u)] \quad (5)$$

onde x representada o estado ou condição avaliada; u indica a saída ou alternativa recomendada; e r é o número de regras que compõem a base.

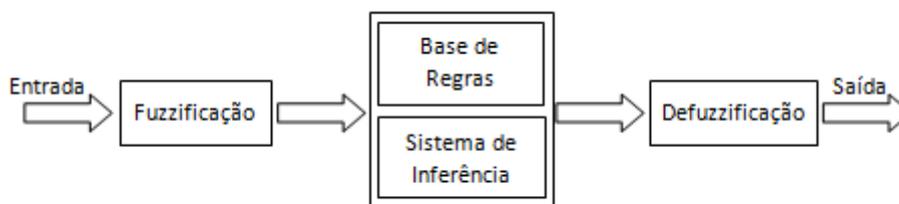
Por fim, na defuzzificação os valores gerados na inferência são transformados para números reais (*crisp*) através de métodos como o Centro de Gravidade (G), adotado neste trabalho através da Equação 6:

$$G(B) = \frac{\sum_{j=0}^n u_j \varphi B(u_j)}{\sum_{j=0}^n \varphi B(u_j)} \quad (6)$$

onde $\varphi B(u)$ é o grau de compatibilidade do valor u com o conceito modelado pelo conjunto *fuzzy* B .

Seguindo estes procedimentos, a modelagem foi desenvolvida mediante a construção de um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF). Para, isso, as notas dadas segundo os parâmetros propostos (severidade, magnitude e importância) passaram a ser de 0 (zero) a 10 (dez) e utilizadas no sistema de inferência como mostrado na Figura 3:

Figura 3. Sistema de Inferência Fuzzy.



Fonte: O Autor.

Portanto, os passos executados foram os seguintes:

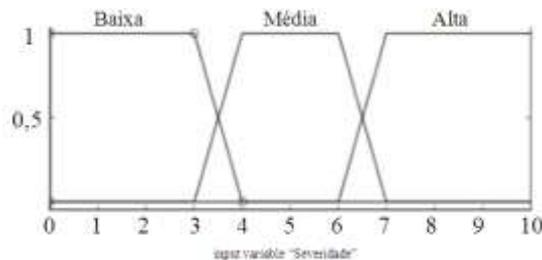
- fuzzificação: modelagem das variáveis através de conjuntos fuzzy, com seus respectivos domínios, e funções de pertinência;
- base de regras e inferência: base de regras é um conjunto de regras capaz de descrever um sistema em suas várias possibilidades e o método de inferência utilizado foi do tipo Mandani;
- defuzzificação: nesta etapa, os resultados obtidos pelo sistema de inferência são convertidos em valores reais, utilizando como método de defuzzificação o do Centro de Gravidade (ou centróide).

Dessa forma, foram desenvolvidos três sistemas *fuzzy* para modelagem do Índice de Qualidade Ambiental da Paisagem, sendo aplicados os conceitos fundamentais apresentados anteriormente.

O primeiro sistema determina a Qualidade do Meio, ou seja, determina a qualidade avaliada através da análise de paisagem para os meios físico, biótico e antrópico. Para isso, foram construídos três conjuntos de funções de pertinência que expressam as variáveis de entrada, como os conjuntos *fuzzy* mostrados na figura adiante. As notas foram fuzzificadas de forma que ao modificador linguístico “Baixa” foi atribuído às notas de 0 a 4, ao “Média” às notas de 3 a 7 e ao “Alta” às notas de 6 a 10, sendo que as notas de 3 a 4 e 6 a 7 possuem pertinências variáveis nos conjuntos Baixa e Média e Média e Alta, respectivamente.

As variáveis de entrada Severidade, Magnitude e Significância possuem conjunto de funções de pertinência semelhantes, como o ilustrado na Figura 4.

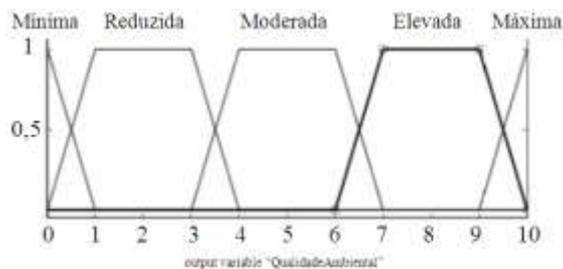
Figura 4. Funções de pertinência das variáveis de entrada.



Fonte: Matlab ®

Por sua vez, a Figura 5 mostra um conjunto de funções para a variável de saída, a Qualidade do Meio, uma vez que o estudo é feito da mesma forma, seguindo o mesmo procedimento, para os meios físico, biótico e antrópico.

Figura 5. Funções de pertinência da variável de saída Qualidade do Meio.



Fonte: Matlab ®

Existem três operações padrões de conjuntos *fuzzy*: intersecção (operador *e*), união (operador *ou*) e complementar (operador *de negação*). De acordo com essas operações, dados dois ou mais conjuntos *fuzzy*, estes produzem um agregado dos subconjuntos dados (subconjunto *fuzzy*).

Em complemento as definições apresentadas anteriormente, tem-se que a intersecção entre *F* e *G* é o subconjunto de *X* dado pela função de pertinência:

$$\mu_{(F \cap G)}(x) = \min\{\mu_F(x), \mu_G(x)\} \quad (7)$$

A união entre *F* e *G* é o subconjunto *fuzzy* de *X* cuja função de pertinência se denota por:

$$\mu_{(F \cup G)}(x) = \max\{\mu_F(x), \mu_G(x)\} \quad (8)$$

O complementar do subconjunto *F* é o subconjunto *fuzzy* *F'* de *X* em que a função de pertinência é dada por:

$$\mu_{F'}(x) = 1 - \mu_F(x), x \in X \quad (9)$$

Como discutido, no processo de inferência *fuzzy*, as variáveis linguísticas determinam as relações entre as variáveis de entrada e saída, sendo estas matematicamente estabelecidas pelas

regras associadas aos processos. Uma regra “se-então” tem a forma “Se x é A então y é B”, onde A e B são valores linguísticos modelados pelos conjuntos *fuzzy*. O acompanhante do termo “se” é chamado de antecedente e o do termo “então”, consequente. As regras são definidas pelo produto cartesiano *fuzzy* dos conjuntos *fuzzy* que compõem o antecedente e o consequente da regra, compondo a base de regras.

Para o presente trabalho, através do consenso entre os autores e especialistas, que levou em consideração cada uma das variáveis de entrada e suas medidas de interferência na avaliação da paisagem, foram construídas 27 regras para o primeiro e segundo sistemas e 9 regras para o terceiro, totalizando 63 regras relacionais *fuzzy*.

Tabela 1. Regras de Inferência.

Severidade	Magnitude	Significância	Qualidade	
Baixa	Baixa	Baixa	Máxima	
		Média	Elevada	
		Alta	Moderada	
	Média	Baixa	Baixa	Elevada
			Média	Moderada
			Alta	Moderada
	Alta	Baixa	Baixa	Moderada
			Média	Moderada
			Alta	Reduzida
Média	Baixa	Baixa	Elevada	
		Média	Moderada	
		Alta	Moderada	
	Média	Baixa	Baixa	Moderada
			Média	Moderada
			Alta	Moderada
	Alta	Baixa	Baixa	Moderada
			Média	Moderada
			Alta	Reduzida
Alta	Baixa	Baixa	Moderada	
		Média	Moderada	
		Alta	Moderada	
	Média	Baixa	Baixa	Moderada
			Média	Moderada
			Alta	Reduzida
	Alta	Baixa	Baixa	Moderada
			Média	Reduzida
			Alta	Mínima

Fonte: O Autor

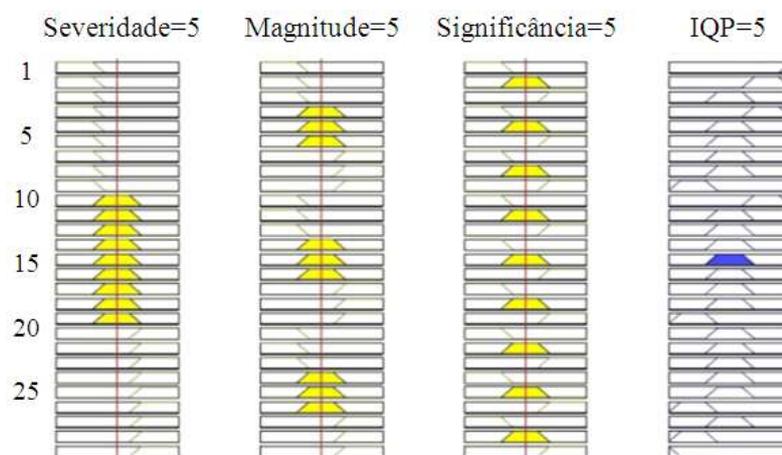
Em suma, o primeiro sistema é utilizado para determinar a qualidade ambiental dos meios físico, biótico e antrópico da paisagem, quanto menor a nota atribuída, maior a qualidade do meio. Por sua vez, o segundo sistema determina a qualidade ambiental das visadas, quanto menor a nota determinada para o meio, menor será a qualidade ambiental da visada.

Dado que são obtidas sete visadas, para facilitar a determinação da qualidade ambiental, essas foram divididas em grupos de dois, dois e três, sendo necessário a criação do terceiro sistema

com nove regras que seguem a mesma ordem do segundo sistema sem prejudicar os resultados. Assim, para a determinação da qualidade ambiental das cenas, utilizou-se os segundo e terceiro sistemas. Assim, algumas das regras utilizadas podem ser observadas em tabelas feitas no Excel®, conforme a Tabela 1:

Deste modo, a inferência *fuzzy* avalia matematicamente as informações subjetivas definidas na base de regras e, para isso, neste trabalho aplicou-se o método de Mandani, que é um dos métodos mais utilizados em sistemas baseados no conhecimento de especialistas (Roveda et al. 2012). O Método de Mamdani que utiliza os operadores *ou* (máximo) e *e* (mínimo) como o mostra a Figura 6.

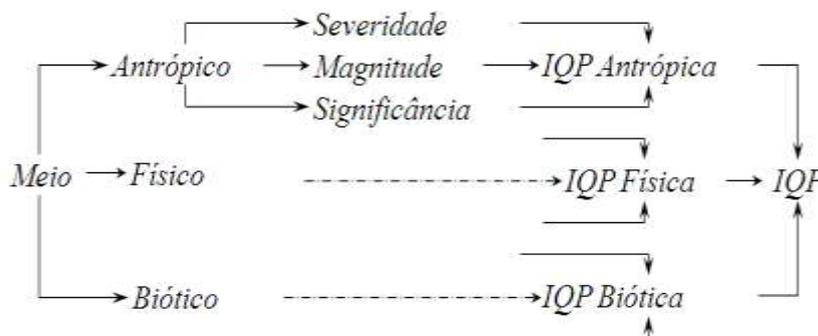
Figura 6. Ilustração do Método Mamdani.



Fonte: Matlab ®

Como descrito anteriormente, para defuzzificação, que transforma a saída *fuzzy* em um valor numérico real (crisp), utilizou-se o centro de gravidade. Assim, uma visão geral do modelo pode ser visualizado na representação esquemática da Figura 7.

Figura 7. Diagrama Organizacional do Modelo Construído.



Fonte: O Autor

Área de Estudo

O método proposto, foi aplicado a uma região da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí-Mirim, que abrange três municípios paulistas, sendo 55% em Jundiáí, 36,6% em Jarinu e 8,4% em Campo Limpo Paulista (Moraes 2003).

A bacia hidrográfica do rio Jundiáí-Mirim (rio de classe 1) é uma sub-bacia do rio Jundiáí (rio de classe 4) – afluente à margem esquerda, e faz parte da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí (UGRHI nº 5) (Moraes 2003), como pode ser visualizado na Figura 8 (Gandelini & Caixeta Filho 2007).

Figura 8. Localização da bacia do rio Jundiáí-Mirim.



Fonte: Gandelini & Caixeta Filho 2007.

A bacia do rio Jundiáí-Mirim é responsável por abastecer 97% da água consumida pelo município de Jundiáí, e possui 118km² de área de drenagem (Gramolelli Jr. 2004). A vegetação remanescente é representativa nesta bacia (24,1%). Entretanto, esta bacia tem sido objeto de intensa degradação, sobretudo, pela expansão urbana que é um fator problemático e de difícil reversão, pois a bacia já possui áreas classificadas como Zona Urbana pelo Plano Diretor Municipal (Instituto Agrônomo de Campinas 2003).

A questão dos loteamentos se agrava pois, além de clandestinos, apresentam lotes com tamanho inferior ao limite estabelecido pela legislação vigente. Outro fator de perturbação é mineração que, apesar de estar progressivamente se adequando as normas de exploração, muitas são atividades embargadas e que voltam à funcionar com base em recursos judiciais, tornando complexo o seu controle (Bressane e Queiroz 2013).

Logo, trata-se de uma área importante para fins de conservação ecológica e como manancial de abastecimento público, que requer instrumentos que proporcionem apoio a recuperação e manutenção da qualidade ambiental, razão pela qual foi selecionada para aplicação da

modelagem fuzzy proposta neste estudo. Nesta bacia, a área objeto da análise de paisagem está situada próxima à captação de água para consumo humano de Jundiaí, situada nas proximidades do exutório da bacia, apresentada na Figura 9, sendo selecionada devido, principalmente, a sua importância para a reservação de água. A coordenada geográfica UTM do ponto onde ficaram situados os observadores (em destaque na Figura 9) é de 305249,05 m E e 7438771,86 m S (datum SAD 69).

Figura 9. Imagem utilizada na análise de paisagem.



Fonte: O Autor.

Resultados e Discussão

Para avaliar comparativamente o resultado da utilização da Lógica *fuzzy*, utilizou-se inicialmente as equações apresentadas para o método convencional e, posteriormente, recalculou-se o índice de qualidade da paisagem utilizando o modelo desenvolvido.

Índice de Qualidade Ambiental da Paisagem – IQP

A partir das observações em campo pode-se diagnosticar, analisar e ponderar as diferentes situações da paisagem. Para isso foi importante discutir sobre os impactos com relação aos meios avaliados (físico, biótico e antrópico) e os critérios de ponderação (severidade, significância e magnitude), visando gerar subsídios a futura proposição de diretrizes para um plano de gestão da área em análise. Na Figura 10 é apresentada a imagem segmentada para análise.

Dessa forma, a partir das observações em campo foram atribuídos os valores na matriz, como apresentado na Tabela 2.

Com base nestes valores foi calculado o índice e o coeficiente de qualidade ambiental (equações 1 e 2), obtendo, respectivamente, 35% e 39%, considerados indicativos de baixa qualidade para paisagem analisada, constatando-se que diretrizes de gestão ambiental devem ser implementadas visando à melhoria da área, sobretudo por se tratar de uma manancial de abastecimento público.

Figura 10. Imagem da paisagem segmentada utilizada.



Fonte: O Autor.

Tabela 2. Atribuição dos Valores.

Visada	Distância	Severidade			Magnitude			Significância			TOTAL
		Físico	Biótico	Antrópico	Físico	Biótico	Antrópico	Físico	Biótico	Antrópico	
		A	5	10	10	10	10	10	10	10	
1	B	5	10	10	10	10	10	10	10	10	85
	C	5	5	5	5	5	10	5	5	10	55
	A	5	10	10	10	10	10	10	10	10	85
2	B	5	10	10	10	5	10	10	10	10	80
	C	1	5	5	5	1	1	1	1	5	25
	A	10	10	5	10	5	5	10	5	10	70
3	B	1	1	1	5	1	1	1	1	1	13
	C	1	5	5	5	1	1	5	1	5	29
	A	10	5	5	5	5	5	10	5	5	55
4	B	5	5	1	1	1	1	1	1	1	17
	C	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90
	A	10	5	5	5	5	5	10	5	5	55
5	B	5	5	1	1	1	1	1	1	1	17
	C	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90
	A	10	5	5	5	5	5	10	10	5	60
6	B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	C	10	5	10	5	10	10	10	10	10	80
	A	10	10	10	10	5	10	10	10	10	85
7	B	10	10	10	10	10	10	10	10	10	90
	C	10	5	5	5	5	5	5	5	5	48
	TOTAL	139	142	134	138	116	129	150	131	144	1220

Fonte: O Autor

IQP com uso do Modelo Fuzzy

Utilizando-se os dados apresentados na tabela 2 e os procedimentos descritos anteriormente, o IQP com uso da modelagem *fuzzy* resultou em 30%, indicando uma baixa qualidade ambiental para a paisagem analisada, tal como diagnosticado pelo método convencional.

Assim, considera-se validado o sistema de apoio proposto que, além de ser capaz de reproduzir os resultados do método convencional, permitiu equacionar de maneira mais adequada os fatores relativos a subjetividade, incerteza e imprecisão, favorecendo o diagnóstico ambiental baseado na percepção da população.

Conclusões

Pelos resultados alcançados, conclui-se que há um grande potencial da modelagem proposta para análise de paisagem aplicada ao diagnóstico ambiental participativo, pois: a percepção dos participantes é intrinsecamente subjetiva; as observações que integram a análise visual são qualitativas; as ponderações de variáveis envolvem incertezas e imprecisões; grande proporção dos aspectos ambientais não se comporta de forma dicotômica e não há limites rígidos entre os componentes ambientais, entre outros fatores tratados de maneira mais adequada pela abordagem *fuzzy* construída neste estudo. Assim, o uso da lógica *fuzzy* para análise de paisagem permitiu gerar um melhor equacionamento das características físicas, bióticas e antrópicas diagnosticadas com base na percepção visual da área em estudo.

Portanto, de acordo com o objetivo proposto e resultados alcançados, conclui-se que o diagnóstico feito utilizando o IQP modelado com uso da teoria dos conjuntos *fuzzy* se mostrou um instrumento capaz de orientar a gestão ambiental participativa. Dessa forma, ao incorporar a percepção da população diretamente interessada, a ferramenta proposta proporciona maior legitimidade às políticas públicas, premissa maior para o alcance do desenvolvimento sustentável.

Referências

- Aurélio. Dicionário On Line [serial on the Internet], 2013 Ago [cited 2013 Out 31]. Available from: <http://www.dicionariodoaurelio.com/Paisagem.html>.
- Bailly A S 1973. *Les théories de l'Organisation de l'Espace urbain l'Espce géographique*".Doin Éditeurs, Paris, _pp.
- Barros L, Bassanezi R 2006. *Tópicos de Lógica Fuzzy*. "Biomatemática". v5. Textos Didáticos, Campinas-SP, 354pp.
- Bressane, A, Queiroz, D. 2013. Análise de imagens como subsídio a gestão ambiental: estudo de caso na baía do rio Jundiá-Mirim. In AI Ribeiro et al. (org). *Memórias do workshop de integração de saberes ambientais*, Editora do Campus Experimental, Sorocaba, p. 38-42.
- Callisto, M.; Ferreira, W. R.; Moreno, P.; Goulart, M.; Petrucio, M. 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 1(14): 91-98.
- Canavese D, Ortega NRS, Giatti LL 2012. Ecosystem approach and the Fuzzy logic: a dialectical proposal for information on Environmental Health. *Eng. Sanit. Ambient.*, 4(17):363-368.
- Castello L A 1996. Percepção em Análises Ambientais: O Projeto MAB/UNESCO em Porto Alegre. In Oliveira L, Del Rio V, (org.). *Percepção Ambiental: A experiência brasileira*. Editora da UFSCAR, São Carlos, p. 23-37.

Lucirene Vitória Góes França; Adriano Bressane; Fabio Nowak da Silva; Afonso Peche Filho; Gerson Araujo de Medeiros; Admilson Irio Ribeiro; José Arnaldo Frutuoso Roveda; Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda

Cornelissen AMG, Van der Berg J, Koops WJ, Grossman M, Udo HMJ 2011. Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory. *Agr. Ecosys. Environ.*, 2(86): 173-185.

Gabriel Filho LRA, Cremasco CP, Romanini PA, Gabril JEF 2009. Determinação das funções de pertinência dos índices de qualidade da água e de substâncias tóxicas e organolépticas. *Colloquium Exactarum*, 1(1): 46-55.

Gandelini L, Caixeta Filho JV 2007. Otimização dos aterros sanitários. *Revista de Economia Contemporânea* 1(11): 509-523.

Gramolelli Junior F 2004. *Diagnóstico do uso da água na irrigação de culturas na bacia do Rio Jundiá-Mirim / SP*. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 101pp.

Hofmeister W 2002. "Rio+10=Joanesburgo: Rumos para o desenvolvimento sustentável". Série Debates Fundação Konrad Adenauer, Fortaleza 198pp.

Icaga Y 2007. Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecol. Indic.*, 3(7): 710-718.

Instituto Agrônomo de Campinas 2003. *Diagnóstico Agroambiental para Gestão e Monitoramentoda Bacia do Rio Jundiá-Mirim*. IAC, Campinas, 338pp.

Janssen JAEB, Krol MS, Schielen RMJ, Hoekstra AY, Kok JL 2010. Assessment of uncertainties in expert knowledge, illustrated in fuzzy rule-based models. *Ecological Modelling*, 1 (221): 1245-1251.

Kahraman C, Kaya I 2010. A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. *Expert Systems with Applications*, 1(37): 6270-6281.

Kandel A 1986. "Fuzzy mathematical techniques with applications. Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 325pp.

Laurie M 1975. An introduction to landscape architecture. American Elsevier Publishing Company, 1975. In Laurie M. An introduction to landscape architecture. American Elsevier Publishing Company, USA, _pp.

Lermontov A, Yokoyama I, Lermotov M, Machado MS 2009. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed Brazil. *Ecological Indicators*, 1(9): 1188-1197.

Marenzi RC 1996. *Estudo da valoração da paisagem e preferencias paisagisticas no municipio da Penha-SC*Dissertação de Mestrado - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Paraná, _pp.

Medeiros GA, Ribeiro AI, Peche Filho A 2013. Memórias de aula: definição dos pontos de amostragem da qualidade da água na bacia. Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Sorocaba - SP.

Mendoza GA, Prabhu R 2003. Fuzzy methods for assessing criteria and indicators of sustainable forest management. *Ecol. Indic.* 3(1): 227-236.

Menezes MD, Silva SHG, Owens PR, Curi N 2013. Digital soil mapping approach based on fuzzy logic and field expert knowledge. *Ciência e Agrotecnologia*, 37(1): 287-290.

Moraes JFL 2003. *Diagnóstico agroambiental para gestão e monitoramento da bacia do rio Jundiá-Mirim*. Relatório Final – 2ª Fase. Processo Fapesp: 98/14181-5: Execução: Instituto

Lucirene Vitória Góes França; Adriano Bressane; Fabio Nowak da Silva; Afonso Peche Filho; Gerson Araujo de Medeiros; Admilson Irio Ribeiro; José Arnaldo Frutuoso Roveda; Sandra Regina Monteiro Masalskiene Roveda

Agrônomo de Campinas - IAC, Instituto de Economia Agrícola - IEA, Prefeitura do Município de Jundiaí, DAE S/A. Campinas - SP, _pp.

Organização Pan-Americana da Saúde. OPAS 1996. *El movimiento de municipios saludables: una estrategia para la promoción de la salud en américa latina*. 4(14): p. _.

Pires PS 1993. *Avaliação da qualidade visual da paisagem na região carbonífera de Criciúma-SC*. Dissertação de Mestrado - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, _pp.

Ribas A, Graemel K. Poluição Sonora: Objeto de estudo da Ecologia? Ver fonoaudiologia no Brasil [serial on the Internet], 2009 [cited 2009 Set 16]. Available from: <http://www.fonoaudiologia.org.br>.

Riedler C, Jandl R 2002. Identification of degraded forest soils by means of a fuzzy-logic based model. *Plant Nutrition Soil Science*, 165(1): 320-325.

Roveda SRMM, Roveda JAF, Lourenço RW 2012. Aplicação da Lógica Fuzzy para Estudo de Permeabilidade de Solos de Região Impactada da Baixada Santista. *Holos Environment*2(11): 180-187.

Shaw LS, Simões MG 2001. *Controle e modelagem fuzzy*. Edgard Blucher, São Paulo 164pp.

Vasconcelos L, Moleiro C, Ribeiro, A, Parracho ML, Pegado NA 2009. *Participação pública e diagnóstico ambiental: uma proposta*. [serial on the Internet], 2009 [cited 2009 Set 11]. Available from: <http://www.cm-leiria.pt/document/797080/823923.pdf>.

Yilmaz I 2007. Fuzzy evaluation of water quality classification. *Ecological Indicators*, 1(7): 710-718.