

MÉTODOS MULTICRITERIAIS FUZZY PARA DESCREVER CRITÉRIOS SOCIAIS E AMBIENTAIS EM PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS: Métodos CP e CGT.

Antonio Carlos Zuffo¹

RESUMO: Este trabalho apresenta a aplicação de dois métodos multicriteriais fuzzy muito utilizados em Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos: F-CGT (*Fuzzy-Cooperative Game Theory*) e o F-CP (*Fuzzy-Compromise Programming*). A natureza multidisciplinar dos problemas que envolvam o planejamento de recursos hídricos necessita de ferramentas capazes tratar com diferentes naturezas de informação. Muitas das informações utilizadas são de natureza abstrata ou subjetiva, o que dificulta a definição de critérios específicos, como a “Beleza Cênica” ou “Qualidade de Vida”. Critérios que descrevem diferentes graus de atendimento, ou características da cultura ou tradições regionais. Assim, os aspectos ambientais, sociais e culturais são os mais difíceis para a avaliação técnica, que muitas vezes se baseiam em expectativas de graus de atendimento, ou avaliações vagas ou imprecisas de opiniões distintas, diferentemente dos critérios técnicos e econômicos mais exatos tecnicamente do ponto de vista de avaliação e estimação. Estes métodos foram aplicados a um estudo de caso em que foram considerados quinze critérios para analisar oito alternativas. A bacia do Cotia (RMSP) foi selecionada como estudo de caso, por possuir dados disponíveis em análise multicriterial. A proposta de incorporação de critérios de natureza subjetiva mostrou-se viável, confiável e contribuiu para melhorar o processo de tomada de decisão.

ABSTRACT: *This paper addresses the application of fuzzy multicriteria methods, which are suitable for the water resources planning: “Fuzzy Cooperative Game Theory” (F-CGT) and “Fuzzy Compromise Programming” (F-CP). The multi-disciplinary nature of some problems involved in the water resources planning needs tools that allow the work with different data bank. Many of the criteria involved are endowed with subjective or abstractive qualities. These characteristics address difficulties in representing these criteria, such as: “scenic beauty”, quality of life”. These criteria are use to discuss different grade of performance or to incorporate some values or regional culture. The incorporation of environmental, social, technical and economical criteria is necessary to accomplish this purpose. Therefore, fuzzy numbers better describe social and environmental criteria, since they easily incorporate subjectivity. In general, fuzzy sets allow the expression of a range of possibilities and provide the incorporation of experts’ experience. Fifteen criteria were considered to analyze 8 alternatives. The F-CGT and F-CP methods used make use of triangular shape fuzzy numbers to represent their pertinence function. The Cotia river basin (RMSP) was selected as the case study. The fuzzy incorporation of social, environmental criteria proved themselves to be feasible and reliable, contributing to improve the decision making process.*

Palavras-chave: Planejamento de recursos hídricos, métodos multicriteriais fuzzy, análise multicriterial.

¹ Professor Assistente Doutor da UNICAMP, FEC, DRH, LADSEA (Laboratório de Apoio multicritério à Decisão orientada à Sustentabilidade Empresarial e Ambiental. Av. Albert Einstein, 951, 13.083-852 Campinas, SP. E-mail: zuffo@fec.unicamp.br

Introdução:

Em planejamento de recursos hídricos a avaliação de projetos considerando apenas o critério econômico levou a diferentes graus de degradação do meio-ambiente. Por esta razão, é unânime o reconhecimento de que outros critérios, como os ambientais e sociais devam ser considerados conjuntamente com os critérios econômicos para a tomada de decisão.

A análise multicriterial tem mostrado que é uma ferramenta poderosa para avaliação de projetos e seleção de cenários em diferentes fases do planejamento, mas principalmente daquelas que envolvam múltiplos decisores, ambiente e sociedade.

No Brasil ainda é precário o reconhecimento das possibilidades de associação entre o planejamento multicriterial e valorização ambiental e social sejam técnica e ambientalmente sustentáveis para assegurar que tomadas de decisão sobre recursos hídricos tornem-se mais acertivas. Muitos técnicos, no entanto, apesar de reconhecerem a necessidade da incorporação de critérios sociais, e ambientais, reconhecem que esta incorporação não é tarefa fácil. As estimativas tradicionais de análises de custo/benefício, que procuram incorporar alguns custos e benefícios marginais, os tão conhecidos custos e benefícios intangíveis, mostraram-se deficientes, e muitas vezes não passaram de estimativas grosseiras. Estimativas essas geradoras das maiores críticas por parte do meio técnico.

Os critérios sociais e ambientais geralmente são de difícil representação matemática, pois, muitas vezes expressam apenas a subjetividade de seus avaliadores, e que essas variam de profissional para profissional, uma vez que as opiniões podem ser diversas. A subjetividade, não é vista com bons olhos no meio técnico para serem utilizadas em análises de viabilidade devido a sua natureza abstrata. É difícil ou mesmo impossível a representação matemática de um critério abstrato e, por conseqüência, as técnicas de otimização não podem ser utilizadas para resolver os problemas. A matemática *fuzzy*, por sua vez, é capaz de representar a subjetividade, que alguns critérios sócio-ambientais possam apresentar, com maior propriedade que a matemática tradicional. Um critério *fuzzy* define uma faixa de valores possíveis de um determinado critério difuso, mas que não representa um número exato, mas um range de números possíveis, definido por um valor mais provável e pelos seus limites de variação (função de pertinência).

A representação de alguns critérios subjetivos por meio de funções *fuzzy*, não garante por si só sua aplicação, há ainda a necessidade do desenvolvimento de métodos multicriteriais capazes de trabalhar com essa nova aritmética. O desenvolvimento destas ferramentas ainda é necessário, uma vez que a própria matemática *fuzzy* não se encontra totalmente desenvolvida. Desta forma, este artigo apresenta uma aplicação de proposta de modificação de dois métodos multicriteriais, baseados na distância, para permitir o cômputo com critérios representados por números *fuzzy*, conforme proposto por ZUFFO (2009a) e (2009b). Foram utilizados os métodos o CP (*Compromise Programming*) e o CGT (*Cooperative Game Theory*) em sua versão *fuzzy*.

Números *fuzzy* triangulares.

Nos métodos CP e CGT a performance de cada cenário para cada critério considerado é representado por um número *fuzzy*. Isso vem do fato de que na maioria dos casos a entrada de dados pode não ser definida dentro de um grau razoável de acuracidade. Muitos dos critérios são avaliados de maneira a incorporar a subjetividade ou probabilidades, em que uma representação estocástica pode representá-la.

Os números *fuzzy* são apresentados de acordo com a proposta de Dubois e Prade (1978), da mesma maneira que foram utilizadas por Zuffo (2009a), na seguinte forma: $x = (m, a, b)_{ED}$, em que os valores menores que $(m - a)$ e maiores que $(m + b)$ não pertencem ao número *fuzzy*, e possuem a função de pertinência igual a zero $f(x) = 0$. Para valores compreendidos entre $(m - a)$ e $(m + b)$ em que a função de pertinência varia de grau e $0 < f(x) \leq 1$, e para valor igual a m a função de pertinência será máxima e $f(x) = 1$. E e D representam os intervalos limítrofes, esquerdo e direito

de “ m ”, respectivamente. Esta representação de números *fuzzy* é a de forma triangular e, portanto, assumimos uma variação linear em sua função de pertinência.

Método Multicriterial - CP (*Compromise Programming*)

O método CP é um dos métodos multicriteriais mais utilizados pela razão de sua simplicidade matemática. Este método está baseado no conceito de distância métrica (Teorema de Pitágoras), entre dois pontos cujas coordenadas são conhecidas (ZELENY, 1982). O método procura minimizar a distância de todos os pontos factíveis avaliáveis, para um determinado ponto escolhido pelo DM, chamado “ponto ideal”. Uma “solução ideal” é definida pela função objetivo $f_i^*(x) = \max f_i(x)$. O vetor f^* é aquele formado por todos os elementos máximos: $f^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*)$.

Zuffo (2009b) propõe a introdução da matemática *fuzzy* no método CP, utilizando a proposta de operações em séries *fuzzy* sugerida por Dubois e Prade (1978, 1979 e 1988). A versão *fuzzy* deste método foi utilizada neste trabalho, conforme proposto por Zuffo (2009b) e também aplicado por Zuffo (2009a).

Na proposta de incorporação da matemática *fuzzy* no método CP, os parâmetros representados por números escalares são substituídos por números *fuzzy* triangulares, desta maneira, a Equação original pode ser reescrita, conforme apresentado pela Expressão (1), nesta proposta os cálculos dos intervalos acompanham os cálculos dos números principais.

$$l_s(x, i_{sE}, i_{sD})_{ED} = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \left| \frac{f_i^*(z, i_{zE}, i_{zD})_{ED} - f_i(x, i_{xE}, i_{xD})_{ED}}{f_i^*(z, i_{zE}, i_{zD})_{ED} - f_{iw}(w, i_{wE}, i_{wD})_{ED}} \right| \right) \quad (1)$$

Em que:

α_i = pesos atribuídos subjetivamente pelo DM ou derivado de alguma estrutura de preferência;

$f_{iw}(w, i_{wE}, i_{wD})_{ED}$ = o pior valor obtido pelo critério i ;

$f_i(x, i_{xE}, i_{xD})_{ED}$ = é o resultado da implementação da decisão x com respeito ao i ésimo critério;

$f_i^*(z, i_{zE}, i_{zD})_{ED}$ = é o maior valor obtido pelo critério i .

Método Multicriterial - CGT (*Cooperative Game Theory*)

O método da Teoria dos Jogos Cooperativos também é um método baseado na distância, sua aplicação é bastante simples e por causa disso também muito utilizado em análises multicriteriais. O CGT ao invés de minimizar a distância de ponto ideal, a “melhor solução” é aquela que maximiza a distância de algum ponto “*status quo*” de nível mínimo, em que a medida de distância utilizada é a geométrica (Gershon e Duckstein, 1983).

A proposta de incorporação da metodologia *fuzzy* no método CGT foi realizada por Zuffo (2009b) similarmente ao realizado no método *Fuzzy-CP*. Com a introdução de números *fuzzy* triangulares na estrutura do método CGT, a equação original pôde ser reescrita na forma da expressão (2):

$$l_s(x, i_{sE}, i_{sD})_{ED} = \prod_{i=1}^n \left| f_i(x, i_{xE}, i_{xD})_{ED} - f_i^*(z, i_{zE}, i_{zD})_{ED} \right|^{\alpha_i} \quad (2)$$

Em que: α_i = é o peso do i ésimo critério;

$f_i^*(z, i_{zE}, i_{zD})_{LD}$ = é o i ésimo elemento do ponto “*status quo*”;

$f_i(x, i_{xE}, i_{xD})_{ED}$ = é o resultado da implementação da decisão x com respeito ao i ésimo critério;

Para ambos os métodos os critérios ambientais e sociais foram descritos por números *fuzzy*, e a performance final de cada alternativa, para cada um dos métodos, retornou uma distância também descrita por um número *fuzzy*, e somente após sua defuzzificação é que permite a comparação e

posterior realização sua classificação final. Todos os critérios foram representados por números *fuzzy*, mesmo para os critérios que possuíssem intervalos limítrofes, esquerdo e direito, iguais a zero. A transformação *fuzzy* - escalar utilizada é aquela proposta por Yager (1981), que corresponde a projeção do centro do triângulo formado pelo número *fuzzy*, conforme apresentado por Zuffo (2009a) e reproduzido aqui pelo exemplo:

$$F(m,a,b) = \frac{(3m - a + b)}{3} \quad \text{e,} \quad F(2;0.8;0.3) = \frac{(3 * 2 - 0.8 + 0.3)}{3} = 1,8333$$

Estudo de caso

Para a verificação da metodologia proposta neste artigo, adotou-se um estudo realizado em 1997 pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), pois utilizou uma análise multicriterial com bastante informações sobre os critérios. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), apesar de estar localizada sobre o vale de um rio de razoável porte, como é o caso do rio Tietê, não pode utilizar suas águas para o abastecimento urbano. A poluição do rio Tietê chegou a níveis tais que não se pode garantir um padrão mínimo de potabilidade sem que os custos de tratamento dessas águas sejam extremamente elevados. Por esta razão, o governo do Estado de São Paulo, iniciou um programa de despoluição do rio Tietê na década de 90.

Um dos projetos previa a construção de um coletor tronco de esgoto para a retirada de 180 L/s do rio Cotia, um afluente do rio Tietê. Com a redução dos esgotos, a ETA do Alto Cotia deixaria de descarregar no Baixo Cotia outros 300L/s, que eram destinados à diluição dos esgotos. Desta forma, seriam subtraídos do rio Cotia cerca de 480L/s, e a ETA do Baixo Cotia não poderia atender a produção de 0,5 L/s de água tratada durante 25% do ano. A bacia do rio Cotia possui uma área aproximada de 240 Km², com dois sistemas produtores de água tratada, as ETAs do Alto (105 Km²) e do Baixo Cotia (135 Km²), ambos responsáveis pelo abastecimento total ou parcial de 7 cidades da região, conforme apresentado por Zuffo (1998).

Uma proposta apresentada para possibilitar a manutenção do Sistema Produtor do Baixo Cotia, e ainda ampliar sua capacidade foi a de re-introdução de água no Sistema por meio de reuso indireto dos efluentes da ETE-Barueri. O efluente da ETE-Barueri possuía uma qualidade muito superior à da vazão natural do rio Cotia, muito poluído por esgotos. O efluente tratado da ETE-Barueri seria então bombeado a montante dessa estação durante o período seco do ano, cerca de 3 meses. A região é rica em alagados naturais, responsáveis pela recuperação parcial da qualidade das águas do rio Cotia. Para aumentar esse tratamento terciário natural, seriam construídas outras áreas de alagados, mais eficientes, para somente então serem captadas pela ETA do Baixo Cotia. Para tanto foram avaliadas 8 alternativas para o problema em questão, representadas pelo desenho esquemático da Figura 2, e resumidos no Tabela 1. Esta proposta não foi implementada pela SABESP.

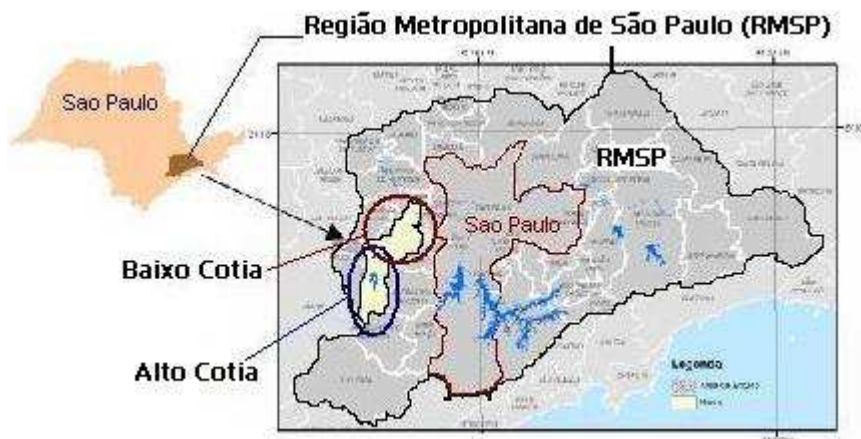


Figura 1: Localização da bacia do rio Cotia, dos sistemas Alto e Baixo Cotia.

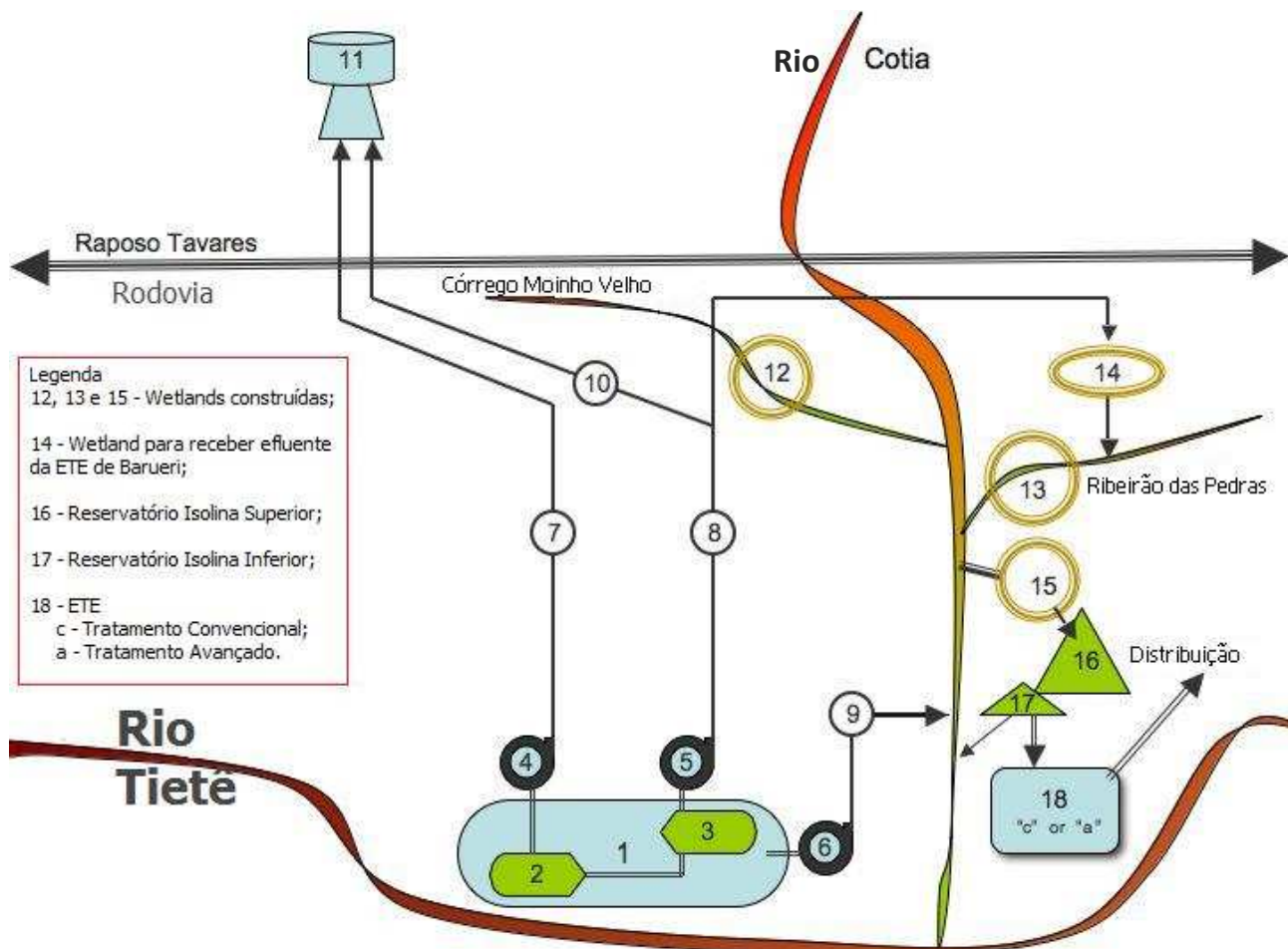


Figura 2: Esquemas das alternativas propostas de 1 a 8. Fonte: Modificado de Zuffo (2009a).
 Obs: Uma legenda complementar pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1: Alternativas segundo estruturas, sistemas e operações previstas. Fonte: Zuffo et al. 2002.

Estruturas, sistemas e operações previstas, segundo nomenclatura da Figura 2	Alternativa							
	1	2	3	4	5	6	7	8
01 -ETE-Barueri (utilização de efluente)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
02- ECR1	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓
03- ECR2	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
04- EB	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗
05- EB	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
06- EB	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
07- Linha de recalque	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗
08- Linha de recalque	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
09- Linha de recalque	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10- Linha de recalque	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗
11- Reservatório de água para reúso	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗
12- Área de alagado construída (ALC)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
13- Área de alagado construída (ALC)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
14- ALC para ETE	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
15- Área de alagado construída (ALC)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
16- Represa Isolina Superior	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
17- Represa Isolina Inferior	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
18- Estação de tratamento de Água (ETA)	C	A	C	A	A	C	C	A

✓ Previsto ✗ Não Previsto C – Tratamento Convencional A – Tratamento Avançado

Avaliação das alternativas

Os métodos *Fuzzy-CP* e *Fuzzy-CGT* foram aplicados a 8 alternativas para o “Projeto Cotia”, na Região Metropolitana de São Paulo. A região Oeste da RMSP é a mais crítica em termos de oferecimento de água potável, e é a primeira a sentir os efeitos da falta de água em períodos de estiagem, por meio das constantes interrupções dos serviços de abastecimento provocado pelo racionamento de água.

Foram adotados 15 critérios de avaliação de ordens econômica, técnica, ambiental e social. Apenas 7 critérios que não foram descritos por números *fuzzy*. O critério econômico foi determinado pela relação benefício x custo, e previa um volume de 150 L/s de água de reuso que seria vendido às indústrias da região com um custo inferior à água tratada do Sistema, e uma vazão de 0 a 450 L/s, a ser reintroduzindo na bacia para o abastecimento doméstico. Esperava-se que, com essa alternativa, as indústrias deixassem de explorar os aquíferos e também diminuir a demanda por água tratada. Caso as indústrias não comprassem essa água de reuso, então o critério econômico teria outro desempenho, pois todos os investimentos já teriam sido realizados, porém, haveria uma queda na receita devido a não comercialização da água de reuso pelas indústrias. Neste caso, são dois cenários extremos, o primeiro corresponde a de 100% de comercialização da água de reuso e o segundo a de nenhuma comercialização dessa água.

Os critérios *fuzzy* representam essa faixa de possibilidade de 0 a 100% de comercialização, e alguns critérios dependem diretamente do desempenho desta quantidade de água consumida, tais como: água subterrânea, vegetação nativa, planícies inundáveis, vazões acrescidas. Os demais critérios *fuzzy*, que não dependem dessa comercialização representam critérios de natureza subjetiva, tais como os critérios qualidade da água, qualidade de vida, geração de empregos, atratividade, que representam os critérios sociais e ambientais, representados pela matriz de avaliação (Tabela 2).

Para facilitar a identificação das letras que identificam os critérios na Tabela 2, o Quadro 1 detalha os critérios utilizados. Os pesos utilizados foram modificados do trabalho de Zuffo (1998), originalmente foram obtidos 4 cenários distintos, baseado em respostas de questionários estruturados. Os pesos foram recalculados por meio do procedimento do método M-Macbeth, com base nas médias dos pesos obtidos pelos questionários e utilizado apenas um cenário.

Quadro 1: Detalhamento dos critérios utilizados no “Projeto Cotia”.

Critério		Descrição
A	Econômico	Resultante do somatório dos sub-critérios econômicos. Relação custo x benefício;
B	Qualidade de água	Conjunto de sub-critérios definidos por alguns parâmetros da qualidade da água.
C	Qualidade de vida	Avaliado de acordo com as expectativas dos resultados esperados após as obras.
D	Saúde física e mental	Condições sanitárias da área de estudo e disponibilidade de áreas verdes para o lazer.
E	Mata ciliar	Baseada na área necessária para a formação, recuperação e manutenção das matas ciliares.
F	Vegetação nativa	Baseado nas possibilidades de alterações das áreas existentes
G	Perigo a acidentes com cargas perigosas	Valorado por meio do levantamento das áreas abrangidas por cada plano de ação e a determinação do perigo a acidentes, baseados nos mapas de criticidade.
H	Mudanças de atividades	Definida pelas perdas ou ganhos de áreas para as atividades ou usos antrópicos.
I	Fauna terrestre e ecossistemas aquáticos	Baseado no potencial de interferência nas populações atuais, e no potencial de alteração desses sistemas pelas obras previstas para cada uma das alternativas.
J	Água subterrânea	Baseado na alteração do número de poços operados.
L	Enchentes	Determinado a partir das mudanças esperadas no comportamento das enchentes dos cursos d'água atingidos pelas obras.
L	Geração de empregos	Definido pelas novas posições resultantes da implementação das alternativas, ou na expectativa de crescimento com a maior oferta de água.
M	Planícies de inundação	Baseado nas áreas alteradas que atingirão as planícies de inundação.
N	Vazões acrescidas	Alteração da vazão natural dos cursos d'água previstos pelas diferentes alternativas.
O	Atratividade	Alteração do potencial de atração das atividades humanas na região.

Tabela 3: Matriz de avaliação (Payoff) com representação dos intervalos em números fuzzy (#;D;E). [Fonte: Zuffo (2009a)]

Crit	Pesos	Valores das Alternativas																							
		01			02			03			04			05			06			07			08		
		#	D	E	#	D	E	#	D	E	#	D	E	#	D	E	#	D	E	#	D	E	#	D	E
A	10,00	3.46	1,38	0,00	2.08	1,38	0,00	1.66	1,25	0,00	0.97	1,25	0,00	3.60	1,52	0,00	9.00	0,00	0,00	1.25	3,05	0,00	2.35	0,00	0,00
B	9,24	3.00	1,00	1,00	3.00	1,00	1,00	3.00	1,00	1,00	3.00	1,00	1,00	3.00	1,00	1,00	0.00	1,00	1,00	0.00	1,00	1,00	3.00	1,00	1,00
C	8,61	9.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	8.93	0,33	0,07	8.93	0,33	0,07	8.70	1,50	0,30	1.18	0,08	0,02	2.00	0,00	0,00	7.95	1,25	0,25
D	7,60	1.32	0,00	0,00	1.32	0,00	0,00	1.32	0,00	0,00	1.32	0,00	0,00	1.32	0,00	0,00	3.21	0,00	0,00	3.21	0,00	0,00	1.32	0,00	0,00
E	5,57	9.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	1.80	0,00	0,00	2.70	0,00	0,00	7.20	0,00	0,00
F	4,68	3.15	3,15	0,00	3.15	3,15	0,00	3.15	3,15	0,00	3.15	3,15	0,00	3.15	3,15	0,00	0.00	0,00	0,00	0.00	0,00	0,00	3.15	3,15	0,00
G	3,92	5.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	5.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00	1.00	0,00	0,00	1.00	0,00	0,00	9.00	0,00	0,00
H	3,54	3.34	0,00	0,00	3.34	0,00	0,00	3.34	0,00	0,00	3.34	0,00	0,00	3.34	0,00	0,00	7.70	0,00	0,00	7.70	0,00	0,00	3.34	0,00	0,00
I	2,53	2.75	0,00	0,00	2.75	0,00	0,00	2.75	0,00	0,00	2.75	0,00	0,00	2.75	0,00	0,00	6.93	0,00	0,00	6.93	0,00	0,00	2.75	0,00	0,00
J	2,28	6.26	0,63	0,63	7.26	0,73	0,73	6.26	0,63	0,63	7.26	0,73	0,73	6.68	0,67	0,67	1.52	0,15	0,15	1.52	0,15	0,15	6.68	0,67	0,67
K	2,15	5.68	0,00	0,00	5.68	0,00	0,00	5.68	0,00	0,00	5.68	0,00	0,00	5.68	0,00	0,00	0.85	0,00	0,00	0.85	0,00	0,00	5.68	0,00	0,00
L	2,03	3.56	0,34	0,34	3.56	0,34	0,34	3.56	0,34	0,34	3.56	0,34	0,34	3.56	0,34	0,34	8.87	0,87	0,87	8.87	0,87	0,87	3.56	0,34	0,34
M	1,90	6.06	0,00	0,00	6.06	0,00	0,00	6.06	0,00	0,00	6.06	0,00	0,00	6.06	0,00	0,00	0.42	0,00	0,00	0.42	0,00	0,00	6.06	0,00	0,00
N	1,77	3.00	1,00	0,00	3.00	1,00	0,00	3.00	1,00	0,00	3.00	1,00	0,00	3.00	1,00	0,00	-1.0	0,00	0,00	2.00	1,00	0,00	0.00	0,00	0,00
O	1,65	5.95	0,60	0,60	6.70	0,67	0,67	5.95	0,60	0,60	6.70	0,67	0,67	5.95	0,60	0,60	1.17	0,12	0,12	1.17	0,12	0,12	5.95	0,60	0,60

Resultados para os dados *fuzzy*:

Os valores obtidos pela aplicação dos dois métodos *fuzzy* utilizados estão apresentados pela Tabela 3. As performances das oito alternativas estão expressas como número *fuzzy*, o número principal (m) seria o resultado dado pelos métodos sem considerar o intervalo definido por um número *fuzzy*. Os intervalos Esquerdo e Direito também são apresentados juntamente como o valor principal (m). Após a defuzzificação desses números retornam o valor da distância obtida pelas alternativas considerando-se os critérios representados por intervalos *fuzzy*. O número obtido corresponde a uma distribuição triangular em função da forma da função de pertinência utilizada que foi a triangular. A defuzzificação utilizada foi aquela proposta por Yager (1981) para permitir a comparação dos resultados. Os mesmos parâmetros para os critérios generalizados e os mesmos pesos foram utilizados na aplicação de ambos métodos *fuzzy* (CP e CGT). O resultado líquido e as classificações obtidas pela implementação dos intervalos *fuzzy* também estão apresentados na Tabela 3.

Table 3: Performance das alternativas expressas como números *fuzzy*.

Classificação	Cooperative Game Theory (CGT)					Compromise Programming (CP)				
	Alter.	(CGT	E	D)	Defuzzificação	Alter.	(CP	E	D)	Defuzzificação
1º	5	3,639	0,782	0,200	3.446	5	0,359	0,221	0,25	0,366
2º	1	3,491	0,675	0,180	3.326	2	0,375	0,221	0,227	0,377
3º	2	3,374	0,792	0,174	3.168	1	0,389	0,218	0,228	0,393
4º	8	3,223	0,444	0,176	3.134	4	0,398	0,226	0,229	0,399
5º	3	3,111	0,786	0,163	2.903	3	0,426	0,224	0,23	0,428
6º	4	2,997	1,009	0,157	2.713	8	0,432	0,224	0,215	0,429
7º	6	2,015	14,088	14,077	2.011	6	0,603	0,281	0,281	0,603
8º	7	1,725	12,733	12,049	1.497	7	0,714	0,304	0,341	0,726

A análise multicriterial pelos métodos CP e CGT podem ser estendidas para tratar com critérios de entrada de natureza subjetiva ou probabilística, por meio de intervalos de possibilidade e então essas faixas podem ser representadas pelos números *fuzzy*. Esta possibilidade introduz novas informações ao processo de decisão resultando em uma hierarquização mais realística em que a imprecisão dos dados é então considerada.

A aplicação destes métodos *fuzzy* só tem sentido quando os intervalos *fuzzy* são assimétricos, uma vez que a proposta de defuzzificação de Yager (1981) retorna o mesmo valor para intervalos simétricos.

Como mostrado na Tabela 3, as melhores alternativas definidas pelo método CGT são as de maiores distâncias, enquanto que para o método CP as melhores são aquelas representadas pelas menores distâncias. Ambos indicaram a alternativa de número 5 como a melhor alternativa, cujo critério econômico é mais vantajoso, uma vez que nos demais critérios, as alternativas possuem praticamente o mesmo desempenho. Observa-se que as alternativas de números 6 e 7, foram classificadas com as piores alternativas, por ambos os métodos, com ou sem intervalos *fuzzy*. As alternativas de números 2 a 5 e mais a 8 alteram-se nas classificações pelos dois métodos, o que mostra que essas alternativas são próximas o suficiente para serem classificadas ora melhor por um método ora por outro.

Pode-se observar que a introdução de dados *fuzzy* não alteram os valores das distâncias originais fornecidas pela aplicação do método multicriterial, mas, após a defuzzificação, caso os intervalos forem assimétricos, pode haver alterações nas hierarquizações das alternativas. A escolha dos parâmetros expressa a preferência ou a opinião do decisor (DM), como previsto, influenciaram fortemente o resultado. Em se considerando que a opinião de diferentes pessoas raramente coincide, na maioria dos casos, não existirá uma única solução aceita por todos e os resultados obtidos por este trabalho devem ser vistos nesta perspectiva.

O método CGT mostrou-se mais sensível às variações devido à incorporação dos intervalos fuzzy que o método CP. Este comportamento pode ser esperado uma vez que no primeiro método, a matemática envolvida é a multiplicação, enquanto que no segundo método, o CP, os intervalos *fuzzy* são calculados por meio de somatórios. Ou melhor, as diferenças entre os resultados do método CGT sem dados *fuzzy* e com dados *fuzzy* são maiores se comparados com aqueles originados pelo método CP.

A metodologia mostrou-se adequada para aplicações que envolvam critérios ambientais e sociais que carregam certa subjetividade, e a sua representação por meio de números *fuzzy* mostrou-se viável.

Agradecimentos

O autor agradece a Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de pós-doutorado, realizada na Universidade de Toronto, Canadá, PROCESSO FAPESP #1999/10268-1.

BIBLIOGRAFIA:

DUBOIS, D. e PRADE, H. (1978) – *Operational on fuzzy numbers. International Journal of Systems Science* 24, 228-238.

DUBOIS, D. e PRADE, H. (1979) – *Fuzzy real algebra: Some results. Fuzzy Sets and Systems*. 2, 327-348.

DUBOIS, D. e PRADE, H. (1984) – *Criteria aggregation and ranking of alternatives in the framework of fuzzy set theory. Studies in the Management sciences*, 20, pp. 209-240.

GERSON, M. e DUCKSTEIN, L. (1983) – *Multiobjectives approaches to river basin planning. Journal of water planning and management*, 109(1), pages 13-28.

SABESP (1997) – Programa de Conservação do Sistema Cotia. Projeto de reabilitação, expansão e conservação do Baixo Cotia. Relatórios Técnicos FBDS (contrato 079/96-A).

YAGER, L. A. (1965) – *A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. Information Science* 24, 143-161.

ZELENY, M. (1982) – *Multiple criteria decision making*. McGraw-Hill Book Company. New York, 563p.

ZUFFO, A. C. (1998) – *Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos*. Tese de doutorado EESC-USP, São Carlos, SP, 361 p.

ZUFFO, A. C. (2009a) - *Fuzzy set to represent environmental and social criteria in a multicriterial approach to water resources planning. In: ANAIS ASCE, 33rd International IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment*. Vancouver, Canada, August 2009. Artigo aceito.

ZUFFO, A. C. (2009b) – *Incorporação de Matemática Fuzzy em Métodos Multicriteriais para Descrever Critérios Subjetivos em Planejamento de Recursos Hídricos: Fuzzy-CP e Fuzzy-CGT. Artigo submetido à apreciação da RBRH em junho de 2009.*