

COMPARAÇÃO DAS LÓGICAS CRISP E FUZZY NA LOCALIZAÇÃO DE UM POSTO FLUVIOMÉTRICO

Michely Libos¹; Mônica de Aquino G. Massera da Hora²; Olga Kelman B. Calhman³

RESUMO --- A lógica tradicional (*crisp*) é baseada na dicotomia do ‘verdadeiro’ e ‘falso’, o que não é ‘verdadeiro’ é ‘falso’ e o que não é ‘falso’ é ‘verdadeiro’. Não existe meio termo. Contudo, o mundo real apresenta algumas situações onde as respostas ‘verdadeiro’ e ‘falso’ não são suficientes para representar a realidade (XEXÉO, 2003). Utilizando essa idéia, aplicou-se, neste trabalho, as lógicas *crisp* e *fuzzy* a um problema escolha de local para a implantação de um posto fluviométrico em uma bacia hidrográfica. Adotou-se o modelo COPPETEC-COSENZA (COSENZA, 1975) para a lógica *crisp*, operação com números triangulares em planilha eletrônica (*fuzzy*) e o modelo *Fuzzy Decision Maker*TM (MCNEILL, 1994). Os mesmos resultados foram apresentados para todos os modelos estudados, com relação à adequabilidade à implantação do posto fluviométrico.

ABSTRACT --- The traditional logic (*crisp*) is based on the dichotomy of ‘true’ and ‘false’, what ‘is not true’ is ‘false’ and what ‘is not false’ is ‘true’. Half term does not exist. However, the real world presents some situations where the answers ‘true’ and ‘false’ are not enough to represent the reality (XEXÉO, 2003). Using this idea, it was applied, in this work, the logics *crisp* and *fuzzy* to a problem of choose of place for the implantation of a gauge station in a watershed. Model COPPETEC-COSENZA (COSENZA, 1975) for the *crisp* logic was adopted, operation with triangular numbers in electronic spread sheet (*fuzzy*) and the model *Fuzzy Decision Maker*TM (MCNEILL, 1994). The same results had been presented for all the studied models, with regard to the adequateness to the implantation of the gauge station.

Palavras-chave: Lógica *fuzzy*, lógica *crisp*, postos fluviométricos.

¹ Professora IFAL *Campus* Marechal Deodoro, Rua Lourival Alfredo, 176, Poeira, Marechal Deodoro, AL, Email mllibos@ifal.edu.br

² Professora Adjunta UFF, Rua Passo da Pátria, 156 - Bloco D - Sala 133 – Térreo - São Domingos, 24210-240 - Niterói, RJ, Email dahora@vm.uff.br

³ Professora Adjunta UFF, Rua Passo da Pátria, 156 - Bloco D - Sala 133 – Térreo - São Domingos, 24210-240 - Niterói, RJ, Email ocalhman@vm.uff.br

1 INTRODUÇÃO

A lógica tradicional, denominada ‘Lógica Aristotélica’ ou ‘Booleana’ assume uma realidade onde só existe o ‘verdadeiro’ e o ‘falso’, o ‘sim’ e o ‘não’ (ZADEH, 1965). Contudo, os seres humanos funcionam de modo vago, utilizando com grande frequência as palavras: morno, nem tanto, talvez, mais ou menos, e outras palavras que são pertencentes ao universo infinito situado entre o ‘verdadeiro’ e o ‘falso’, o ‘sim’ e o ‘não’ (TANSCHKEIT, 1998).

A essa lógica, que trata a nebulosidade existente em muitos dos processos do dia a dia, dá-se o nome de lógica *fuzzy*.

Com isso em mente, procurou-se abordar neste trabalho a aplicação das lógicas *crisp* e *fuzzy* a um problema de localização de um posto fluviométrico em uma dada bacia hidrográfica. Com relação à aplicação da lógica *crisp* adotou-se o modelo COPPETEC-COSENZA desenvolvido por COSENZA (1975). No que tange à lógica *fuzzy*, utilizou-se a operação com números triangulares em planilha eletrônica e o modelo *Fuzzy Decision Maker*TM, desenvolvido por MCNEILL (1994).

2 COMO FUNCIONA

Os operadores humanos controlam processos bastante complexos, tendo como base as informações imprecisas ou aproximadas a respeito do que está se tratando. O modo como ocorre o funcionamento do cérebro humano no processamento dessas informações é também de natureza imprecisa e, em geral, possível de ser expressa em termos linguísticos. A lógica *fuzzy*, como seus conjuntos e suas teorias, pode ser utilizada para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas (ORTEGA, 2001).

2.1 Um rápido vislumbre

Quando se raciocina com base na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto fica bem definido. Os elementos de um conjunto A em um determinado universo X simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto.

O conceito de nebulosidade (*fuzziness*) é introduzido generalizando-se a função característica de modo que ela possa assumir um número infinito de valores diferentes no intervalo $[0,1]$ (ZIMMERMAN, 1991).

A função de pertinência indica o quanto um elemento pertence a um dado conjunto.

Uma variável *fuzzy* é uma variável cujos valores são rótulos de conjuntos *fuzzy*. Esses valores podem ser sentenças em uma linguagem especificada.

Neste caso, a variável é uma ‘variável linguística’. Para ilustrar, os valores da variável *fuzzy* temperatura poderiam ser expressos como *alta*, *não alta*, *muito alta*, *bastante alta*, *não muito alta*, *alta mas não muito alta*. Nesse contexto, a variável temperatura é uma variável linguística.

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição linguística empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados através de termos matemáticos convencionais (TANSCHKEIT, 1998).

3 APLICAÇÃO: ESCOLHA DO TRECHO DE RIO MAIS APROPRIADO PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM POSTO FLUVIOMÉTRICO

A implantação de um posto fluviométrico consiste na instalação de uma régua linimétrica ou um linígrafo que permite a obtenção da variação dos níveis d’água de um curso d’água, que em conjunto com as medições de vazão torna possível o conhecimento das séries de vazões diárias, ou a quantidade de água disponível no local. A Figura 1 apresenta uma foto de uma régua linimétrica instalada às margens do rio Guandu (RJ).

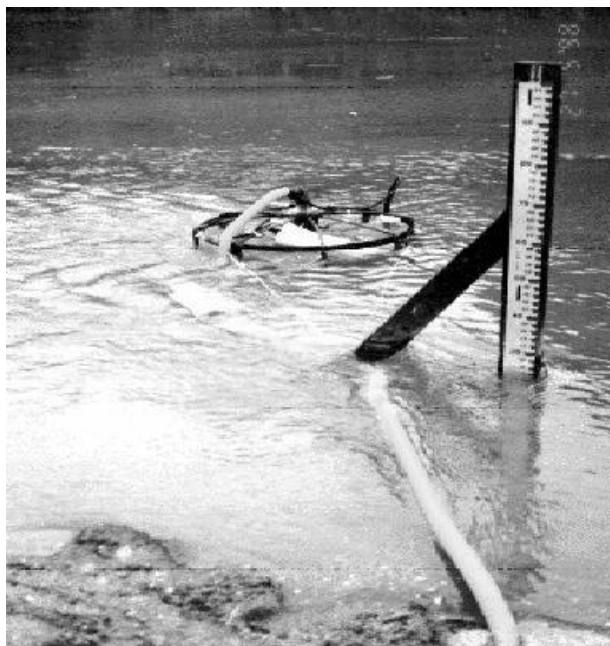


Figura 1. Régua linimétrica às margens do rio Guandu.

O objetivo geral do monitoramento da quantidade de água é o de melhorar a disponibilidade e a confiança em informações para mitigação de enchentes, abastecimento público, outros usos da água e proteção ambiental da qualidade dos recursos hídricos.

Para tanto, é necessário o conhecimento dos níveis d'água e vazões associadas para embasar a gestão dos recursos hídricos, destacando-se as atividades de planejamento, distribuição de água, controle da operação de reservatórios e usinas hidrelétricas, navegação, recreação, alertas de riscos de inundações, uso e ocupação do solo, erosão e, proteção do ambiente. Os dados de níveis d'água, conjugados aos resultados das medições de vazão, permitem o estabelecimento de uma relação denominada curva-chave. Desta forma, a curva-chave é uma representação gráfica desta relação, que envolve características geométricas e hidráulicas da seção de medições e do trecho do curso d'água considerado. A partir da definição desta função são geradas as vazões diárias, mensais, anuais, etc. que subsidiarão, por sua vez, os estudos de vazões extremas, máximas e mínimas, e o estabelecimento dos níveis de alerta de enchentes, vazões disponíveis para outorga do uso de recursos hídricos, modelagem da propagação de enchentes, etc.

A implantação de um posto fluviométrico tem como objetivos específicos:

- permitir a calibração de modelos de simulação, guardadas as limitações das diferentes classes de modelos matemáticos a serem utilizados;
- gerar dados, possibilitando uma extrapolação espacial confiável e estudos de valores extremos;
- fundamentar os processos de outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos, levando em conta o gerenciamento da disponibilidade hídrica em uma dada bacia;
- subsidiar o planejamento e a execução de obras de infra-estrutura, ordenamento da ocupação e uso do solo e estudos hidrológicos para projetos de obras hidráulicas e abastecimento.

Para a elaboração do presente trabalho adotou-se como premissa uma bacia hipotética, apresentada na Figura 2, na qual foram selecionadas três regiões de interesse, denominados estirões do curso d'água, com as seguintes características:

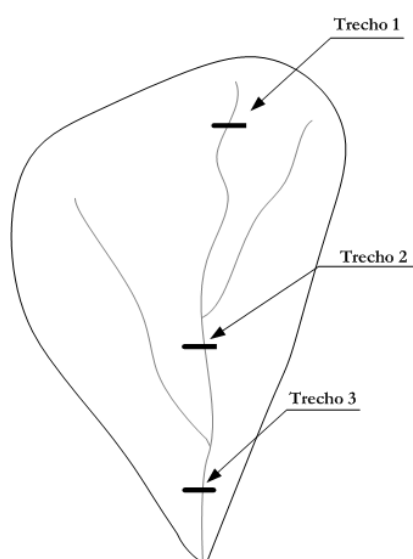


Figura 2. Bacia hidrográfica hipotética.

Trecho 1:

- trecho encachoeirado e sem controle hidráulico;
- seção transversal estável.;
- difícil acesso;
- sem interferências no curso d'água;
- sem abrangência espacial;
- *Datum* IBGE próximo, permitindo a amarração e nivelamento;
- existência de observador, porém, distante do posto.

Trecho 2:

- trecho retilíneo sem controle hidráulico;
- seção transversal estável;
- fácil acesso;
- com interferências no curso d'água;
- relativa abrangência espacial;
- ausência de *Datum* IBGE próximo;
- existência de observador.

Trecho 3:

- trecho retilíneo com controle hidráulico;
- seção transversal estável, sujeita à inundações eventuais;
- acesso não permanente;
- sem interferências no curso d'água;
- com abrangência espacial;
- *Datum* IBGE próximo, permitindo a amarração e nivelamento;
- existência de observador.

Em todos os trechos assumiu-se uma mesma equipe de hidrometria responsável pela aferição, operação e manutenção dos equipamentos.

3.1 Fatores de demanda e oferta

Os fatores gerais e específicos de demanda e oferta, bem como seu enquadramento em uma escala de termos linguísticos, foram hierarquizados com base em informações provenientes de

especialista na área de recursos hídricos. Assim sendo, os fatores a serem considerados na instalação de um posto fluviométrico são descritos em detalhe a seguir.

Fatores gerais:

- acesso: o acesso ao local de implantação do posto fluviométrico deverá ser permanente, a fim de que não haja interrupção na operação do mesmo; não são relevantes os tipos de pavimento nem a largura do acesso;
- observador local: o posto deverá ter um observador que, de modo geral, é morador da região; esse observador será treinado para efetuar as leituras de régua e as tarefas de manutenção e troca de materiais (papel para gráficos, penas e tinta);
- aferição e manutenção dos equipamentos: os equipamentos do posto e de medição de descarga líquida deverão ser aferidos e mantidos pela equipe de hidrometria;
- amarração e nivelamento das réguas: no posto fluviométrico deverão ser implantadas duas Referências de Nível, RRNN, referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro, para verificação da posição dos lances da régua; elas localizar-se-ão próximas à régua, a fim de facilitar os nivelamentos periódicos.

Fatores específicos:

- controle hidráulico: o trecho do rio onde se localizará o posto deverá ser retilíneo e, se possível, ter a jusante uma queda ou corredeira ou obra hidráulica para controle; na seção de medição de vazão, entretanto, o escoamento deverá ser laminar (tranquilo) sem turbulências ou redemoinhos;
- seção transversal estável: é recomendável que as margens da calha sejam estáveis e suficientemente altas para impedir que, nas cheias, o rio transborde;
- ausência de interferências no curso d'água: é recomendável evitar trechos de rio onde existam areiros, captações e lançamentos de efluentes, que possam interferir e/ou modificar a seção hidráulica da calha ou níveis d'água;
- abrangência espacial: é recomendável que o posto seja representativo da bacia drenante à seção de medição.

Estes fatores demandados pelo projeto em questão foram classificados pelos seguintes atributos:

- crítico (Cr) – fator fortemente demandado;
- condicionante (C) – fator demandado;
- pouco condicionante (PC) – fator pouco demandado;

- irrelevante (I) – fator que não exerce influência na demanda.

Os fatores ofertados pelos trechos foram classificados pelos seguintes atributos:

- ótimo – fator ofertado em excesso;
- bom – fator ofertado;
- regular – fator pouco ofertado;
- fraco – fator não ofertado.

3.2 Aplicação da lógica *fuzzy*

Para a escolha do melhor local para a implantação de um posto fluviométrico através da metodologia *fuzzy* foram adotados dois processos de cálculo, a saber: planilha eletrônica e o modelo *Fuzzy Decision Maker™*, *freeware*.

Os números triangulares *fuzzy* representativos de cada atributo de demanda e oferta são apresentados nas Tabelas 1 e 2 e suas representações gráficas nas Figuras 3 e 4.

Tabela 1 - Números triangulares *fuzzy* dos atributos de demanda.

Atributo	Demanda		
	A	M	B
Crítico	2	3	3
Condicionante	1	2	3
Pouco Condicionante	0	1	2
Irrelevante	0	0	1

Tabela 2 - Números triangulares *fuzzy* dos atributos de oferta.

Atributo	Oferta		
	A	M	B
Crítico	2	3	3
Condicionante	1	2	3
Pouco Condicionante	0	1	2
Irrelevante	0	0	1

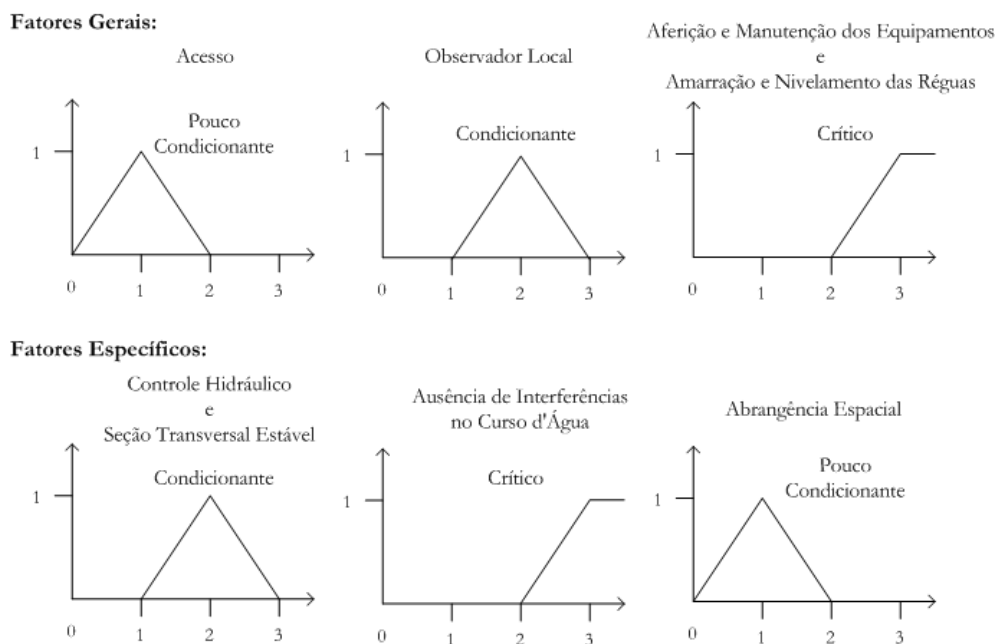


Figura 3 – Representação gráfica das variáveis linguísticas de demanda.

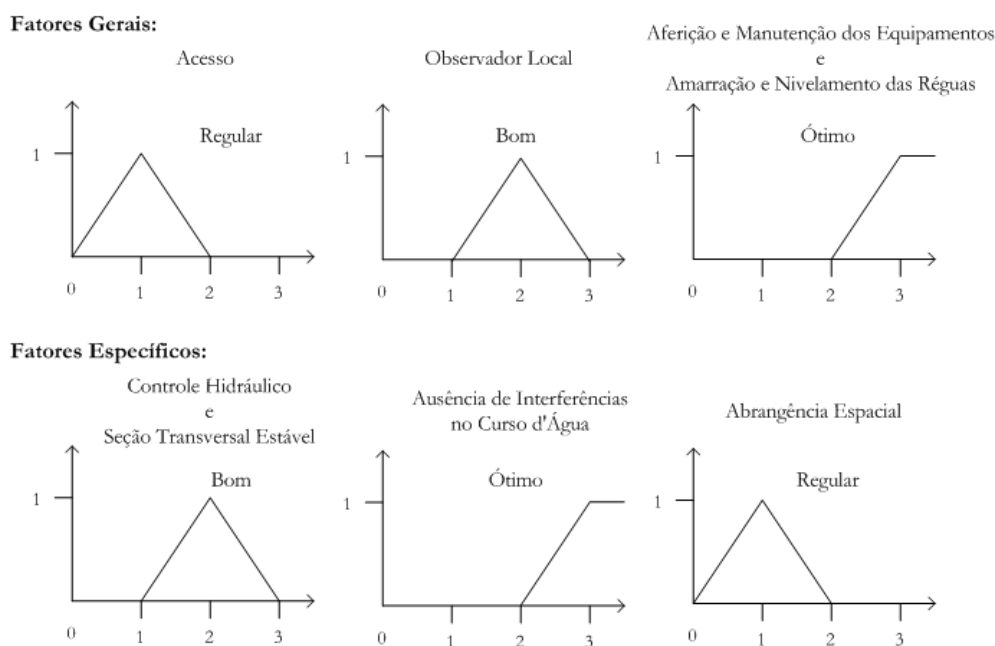


Figura 4 - Representação gráfica das variáveis linguísticas de oferta.

3.2.1 Simulação através de Planilha Eletrônica Excel

A matriz resultante foi obtida considerando-se dois critérios de cálculo. O primeiro, denominado de *Crisp-Fuzzy* (CF) admite que a matriz de demanda é representada por um número *crisp* igual ao somatório do valor médio do número triangular *fuzzy*. O segundo critério, denominado *Fuzzy-Fuzzy* (FF) admite que a matriz de demanda é representada pelo número triangular *fuzzy*.

A equação de ponderação adotada é dada por:

$$i_k = \frac{\sum a_i \cdot b_i}{\sum a_i} \quad (1)$$

onde:

i_k valor de suporte resultante da ponderação;

a_i matriz de demanda;

b_i matriz de oferta.

As planilhas de cálculo pelos dois critérios são apresentadas nas Figuras 5 (CF) e 6 (FF), a seguir, e a representação gráfica dos números *fuzzy* na Figura 7.

	DEMANDA			OFERTA			OFERTA PONDERADA														
	A	m	B	A	m	B	A	m	B	A	m	B	A	m	B						
				TRECHO1	TRECHO2	TRECHO3	TRECHO1	TRECHO2	TRECHO3												
Fatores gerais																					
acesso	0	1	2	0	0	1	2	3	3	0	0	1	2	3	3	0	0	1			
observador local	1	2	3	0	1	2	2	3	3	2	3	3	0	2	4	4	6	6	4	6	6
aferição e manutenção dos equipamentos	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	6	9	9	6	9	9	6	9	9
amarração e nivelamento das régua	2	3	3	2	3	3	0	0	1	2	3	3	6	9	9	0	0	3	6	9	9
Fatores específicos																					
controle hidráulico	1	2	3	0	0	1	1	2	3	2	3	3	0	0	2	2	4	6	4	6	6
seção transversal estável	1	2	3	2	3	3	2	3	3	0	1	2	4	6	6	4	6	6	0	2	4
ausência de interferências no curso d'água	2	3	3	2	3	3	0	0	1	2	3	3	6	9	9	0	0	3	6	9	9
abrangência espacial	0	1	2	0	0	1	0	1	2	2	3	3	0	0	1	0	1	2	2	3	3
Somatório	17									22	35	41	18	29	38	28	44	47			
Valor de Suporte										1,29	2,06	2,41	1,06	1,71	2,24	1,65	2,59	2,76			

Figura 5 - Matriz resultante da ponderação entre as matrizes de demanda e oferta – solução crisp-fuzzy.

	DEMANDA			OFERTA			OFERTA PONDERADA														
	A	m	B	A	m	B	A	m	B	A	m	B	A	m	B						
				TRECHO1	TRECHO2	TRECHO3	TRECHO1	TRECHO2	TRECHO3												
Fatores gerais																					
acesso	0	1	2	0	0	1	2	3	3	0	0	1	0	0	2	0	3	6	0	0	2
observador local	1	2	3	0	1	2	2	3	3	2	3	3	0	2	6	2	6	9	2	6	9
aferição e manutenção dos equipamentos	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3	4	9	9	4	9	9	4	9	9
amarração e nivelamento das régua	2	3	3	2	3	3	0	0	1	2	3	3	4	9	9	0	0	3	4	9	9
Fatores específicos																					
controle hidráulico	1	2	3	0	0	1	1	2	3	2	3	3	0	0	3	1	4	9	2	6	9
seção transversal estável	1	2	3	2	3	3	2	3	3	0	1	2	2	6	9	2	6	9	0	2	6
ausência de interferências no curso d'água	2	3	3	2	3	3	0	0	1	2	3	3	4	9	9	0	0	3	4	9	9
abrangência espacial	0	1	2	0	0	1	0	1	2	2	3	3	0	0	2	0	1	4	0	3	6
Somatório	9	17	22							14	35	49	9	29	52	16	44	59			
Valor de Suporte										0,64	2,06	5,44	0,41	1,71	5,78	0,73	2,59	6,56			

Figura 6 – Matriz resultante da ponderação entre as matrizes de demanda e oferta – solução fuzzy-fuzzy.

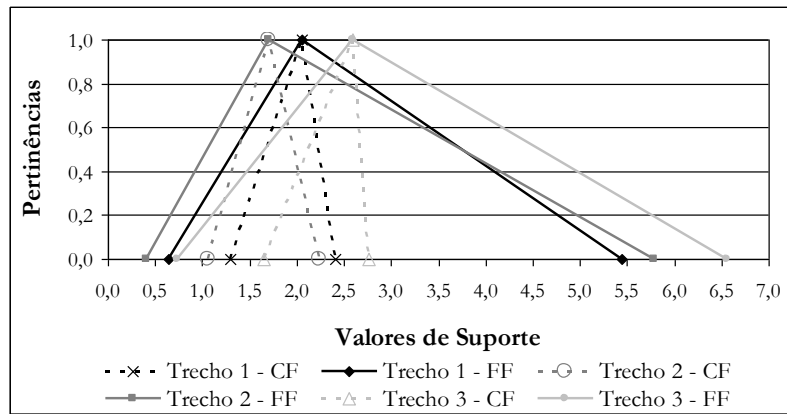


Figura 7 – Representação gráfica dos números fuzzy resultantes das simulações crisp-fuzzy e fuzzy-fuzzy.

3.2.2 Simulação através do Fuzzy Decision Maker™

O código computacional *Fuzzy Decision Maker™* é uma ferramenta de aplicação utilizando lógica *fuzzy* para tomada de decisão. O método envolve a identificação e nomeação dos dados de *input* e *output*, criando uma função de elementos *fuzzy* para cada, através da construção da base de regras e decidindo como a ação deverá ser conduzida. O princípio de controle *fuzzy* é construído através da experiência intuitiva de um especialista.

No processo de tomada de decisão as informações são divididas em: objetivos, restrições e alternativas. A primeira é o que desejamos obter como saída do processo; a segunda compreende fatores limitantes na obtenção dessa saída e a terceira as escolhas disponíveis.

Inicialmente é feita a declaração dos objetivos e restrições, e em seguida é ordenado o grupo de objetivos e o grupo de restrições ao longo de uma faixa de grau de importância variando de 1 (menor) a 9 (maior). O grau é função da análise do problema e da opinião sobre a importância de cada um dos fatores. É feita, então, uma análise comparativa numérica entre cada uma das alternativas e cada um dos objetivos e restrições, fazendo-se a pergunta: “Quão boa esta alternativa é para este objetivo–restrição?”. Esta pergunta também é respondida na escala de 1 a 9, mostrada no programa através de uma escala de variáveis linguísticas, elencadas em ordem decrescente: *most, great, strong, more, moderate, less, weak, small* e *least*.

Para a implementação do programa considerou-se a faixa de variação de 1 a 9 contudo restringindo-a a quatro classes. Para os objetivos e restrições, que são tratados como os fatores de demanda (crítico, condicionante, pouco condicionante e irrelevante) e para as alternativas, que são os fatores de oferta (ótimo, bom, regular e fraco), as classes foram estabelecidas da seguinte forma: crítico e ótimo como *most*, condicionante e bom como *strong*, pouco condicionante e regular como *weak* e irrelevante e fraco como *least*. A Figura 8 apresenta a janela de classificação para os

objetivos e restrições e a Figura 9 a janela de classificação para as alternativas, exemplificada para o fator acesso.

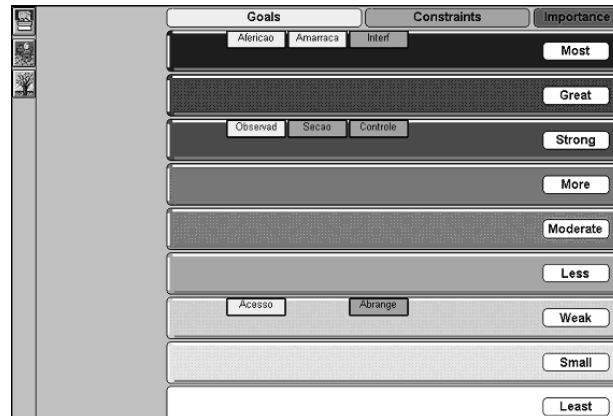


Figura 8 – Janela de classificação dos objetivos e restrições dos fatores de demanda.

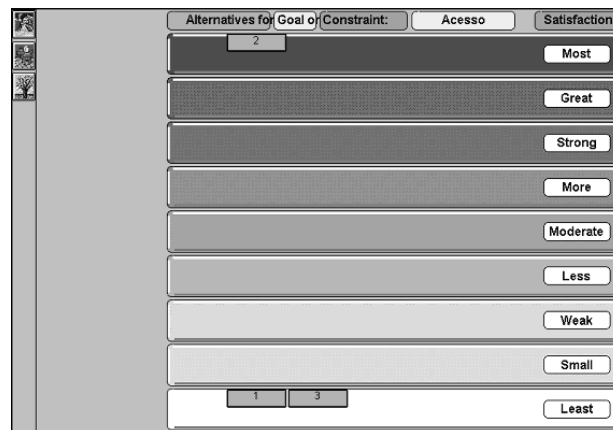


Figura 9 - Janela de classificação das alternativas fatores de oferta dos trechos dos rios – exemplo: fator acesso.

O programa possui algumas opções *default* que foram mantidas, conforme pode ser observado na Figura 10.

Ao final do processo os resultados podem ser avaliados em um relatório semelhante ao apresentado na Tabela 3. O primeiro número (destacado em **negrito**) representa o valor da variável linguística para a demanda, e os três números seguintes (destacados em *itálico*) representam os valores das variáveis linguísticas para a oferta dos trechos 1, 2 e 3, respectivamente.

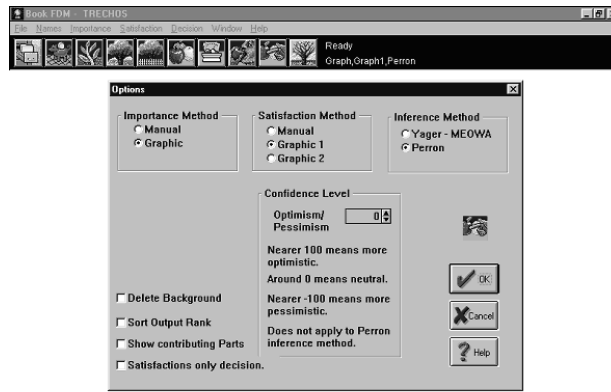


Figura 10 - Janela de visualização das opções do programa.

Tabela 3 - Relatório do resultado final.

Fuzzy Decision Maker Copyright (c) 1994		
Fuzzy Systems Engineering		
Project Name: TRECHOS		
Goals, Importances and Satisfactions: (9 is Most, 1 is Least)		
Acesso	3	1, 9, 1
Observad	7	3, 9, 9
Afericao	9	9, 9, 9
Amarraca	9	9, 1, 9
Constraints, Importances and Satisfactions: (9 is Most, 1 is Least)		
Controle	7	1, 7, 9
Secao	7	9, 9, 3
Interf	9	9, 1, 9
Abrange	3	1, 3, 9
Alternatives and Decision Values: (Highest is best)		
0.347	1	
0.234	2	
0.419	3	
End of report.		

A Figura 11 apresenta o gráfico final do programa onde se observa que o eixo das abcissas representa cada um dos trechos do curso d'água e o eixo das ordenadas o respectivo peso, em percentual, no processo de tomada de decisão.

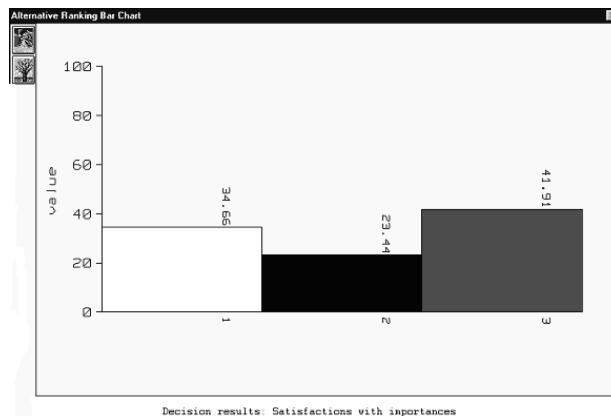


Figura 11 – Relatório gráfico do resultado final.

3.2.3 Descrição do modelo de localização COPPETEC-Cosenza

Baseado no modelo Masterli, foi elaborado um novo modelo locacional por Cosenza e Nascimento, 1975, que ao reformular o procedimento de entrada e saída das informações, facilitou o manuseio dos dados estatísticos. Em 1981, este modelo foi aperfeiçoado no Martin Centre for Architectural and Urban Studies.

Os fatores específicos são aqueles indispensáveis à implantação de uma indústria; a inexistência de qualquer um destes fatores implica na inviabilização desta indústria no local avaliado. São classificados em:

- presente em quantidades satisfatórias para atender a demanda industrial = 1;
- ausente ou em quantidades insatisfatórias = 0.

Os fatores gerais são aqueles comuns a diversos tipos de indústrias, normalmente de infra-estrutura. São classificados, tanto para a oferta quanto para a demanda em:

- crítico (Cr)
- condicionante (C)
- pouco condicionante (PC)
- irrelevante (I)

Os valores a serem considerados nas matrizes de oferta e demanda são:

- Matriz de oferta:

presente = 1

ausente = 0

- Matriz de demanda:

crítico (Cr) = 1

condicionante (C) = 1

pouco condicionante (PC) = 0

irrelevante (I) = 0

Sendo n o número de fatores gerais e específicos, tem-se que:

a) $n * C > n * PC + n * I$

b) $n * PC > n * I$

- c) se não houver um fator crítico ou existir em quantidade insuficiente, a região deve ser desconsiderada do processo de decisão.

A partir das classificações formuladas são construídas matrizes de oferta dos fatores específicos e gerais de cada zona elementar a ser analisada e de demanda por estes mesmos fatores das indústrias a serem avaliadas.

Matrizes de Demanda e Oferta dos Fatores Gerais

Matriz de Demanda

$$A = [a_{ij}]_{m \times s} \quad (2)$$

onde:

m número de indústrias

s número de fatores gerais

Matriz de Oferta

$$B = [b_{jk}]_{s \times r} \quad (3)$$

onde:

s número de fatores gerais

r número de regiões elementares

Matriz de Prioridade em Relação aos Fatores Gerais

Seja a matriz $C = [c_{ik}]_{m \times r} = A\Theta C$, onde a operação de multiplicação é dada pela matriz abaixo:

	b_{jk}	0	1
a_{ij}	0	1/n!	1/n
	1	0	1

Tal que n é a quantidade de fatores locais gerais. Esta comparação é feita para se determinar as vantagens locais com relação à estes fatores.

Matrizes de Demanda e Oferta dos Fatores Específicos

Matriz de Demanda

$$A^* = [a^*_{ij}]_{m \times s} \quad (4)$$

onde:

m número de indústrias

s' número de fatores específicos

Matriz de Oferta

$$B^* = [b^*_{jk}]_{s' \times r} \quad (5)$$

onde:

s' número de fatores específicos

r número de regiões elementares

Matriz de Prioridade em Relação aos Fatores Específicos

Considere a matriz $C^* = [c^*_{ik}]_{m \times r} = A^* \Theta B^*$ de m indústrias por regiões elementares, sendo seus elementos indicadores para estabelecer uma ordem de prioridade na tomada de decisão com relação aos fatores específicos. A formação desta matriz é definida pelo seguinte critério:

	B*_{jk}	0	1
a*_{ij}			
0		0	0
1		0	1

Matriz de Prioridade em Relação aos Fatores Específicos e Gerais

Considere $P = [p_{ik}]_{m \times r} = C \oplus C^*$, tal que a operação especial de soma obedeça a matriz a seguir:

	c_{ik}	> 0	0
c*_{ik}			
0		0	0
> 0		$c^*_{ik} + c_{ik}$	c^*_{ik}

Os elementos de P representam as vantagens locais com relação aos fatores gerais e específicos. Pode-se observar que a não possibilidade de localização com relação aos fatores específicos anula automaticamente a vantagem locacional, porém, se o projeto não depende do fator específico a operação deve ser:

	c_{ik}	> 0
c*_{ik}		
0		c_{ik}

3.2.4 Aplicação do modelo COPPETEC-Cosenza no projeto de localização de um posto fluviométrico

Os fatores Crítico e Condicionante foram adotados como sendo iguais a 1, ou seja, importantes, por consequência os fatores Pouco Condicionante e Irrelevante são iguais a 0, ou seja, não significativos. Assim sendo, a matriz de demanda para os fatores gerais pode ser preenchida da seguinte forma:

Fatores gerais	Variável	
	Linguística	Numérica
Acesso	PC	0
Observador local	C	1
Aferição e manutenção dos equipamentos do posto	Cr	1
Amarração e nivelamento das eéguas	Cr	1

Seguindo o mesmo procedimento, a matriz de demanda para os fatores específicos pode ser preenchida da seguinte forma:

Fatores específicos	Variável	
	Linguística	Numérica
Controle hidráulico	C	1
Seção transversal estável	C	1
Ausência de interferências no curso d'água	Cr	1
Abrangência espacial	PC	0

Adotou-se, para a construção da matriz de oferta, que os fatores gerais e específicos assumirão os valores 0 e 1, no caso de ausência e existência, respectivamente, nos trechos considerados.

Assim sendo, a matriz de oferta dos fatores gerais nos trechos considerados pode ser preenchida da seguinte forma:

Fatores gerais	T1	T2	T3
Acesso	0	0	1
Observador local	0	1	1
Aferição e manutenção dos equipamentos	1	1	1
Amarração e nivelamento das réguas	1	0	1

A matriz de oferta dos fatores específicos nos trechos considerados pode ser preenchida da seguinte forma:

Fatores específicos	T1	T2	T3
Controle hidráulico	0	0	1
Seção transversal estável	1	1	0
Ausência de interferências no curso d'água	1	0	1
Abrangência espacial	0	1	1

Matriz de Prioridade em Relação aos Fatores Gerais

A matriz de prioridade resultante na tomada de decisão em relação aos fatores gerais é dada por:

Fatores gerais	Posto Fluviométrico
Acesso	0
Observador local	1
Aferição e manutenção dos equipamentos	1
Amarração e nivelamento das réguas	1

Fatores gerais	T1	T2	T3
Acesso	0	1	0
Observador local	0	1	1
Aferição e manutenção dos equipamentos	1	1	1
Amarração e nivelamento das réguas	1	0	1

Matriz de prioridades resultante em relação aos fatores gerais

Posto fluviométrico	T1	T2	T3	Σ
Acesso	0,04	0,25	0,04	0,33
Observador local	0,00	1,00	1,00	2,00
Aferição e manutenção dos equipamentos	1,00	1,00	1,00	3,00
Amarração e nivelamento das réguas	1,00	0,00	1,00	2,00
Σ	2,04	2,25	3,04	

Matriz de Prioridade em Relação aos Fatores Específicos

A matriz de prioridade resultante na tomada de decisão em relação aos fatores específicos é dada por:

Fatores específicos	Posto Fluviométrico
Controle hidráulico	1
Seção transversal estável	1
Ausência de interferências no curso d'água	1
Abrangência espacial	0

Fatores específicos	T1	T2	T3
Controle hidráulico	0	0	1
Seção transversal estável	1	1	0
Ausência de interferências no curso d'água	1	0	1
Abrangência espacial	0	1	1

Matriz de prioridades resultante em relação aos fatores específicos

Posto fluviométrico	T1	T2	T3	Σ
Controle hidráulico	0,00	0,00	1,00	1,00
Seção transversal estável	1,00	1,00	0,00	2,00
Ausência de interferências no curso	1,00	0,00	1,00	2,00
Abrangência espacial	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	2,00	1,00	2,00	

Matriz de Prioridade em Relação aos Fatores Específicos e Gerais

A matriz de prioridade resultante na tomada de decisão em relação aos fatores gerais e específicos é dada por:

Matriz de prioridades resultante em relação aos fatores gerais e específicos

Fatores gerais e específicos	Posto fluviométrico
Controle hidráulico	1
Seção transversal estável	1
Ausência de interferências no curso d'água	1
Abrangência espacial	0
Acesso	0
Observador local	1
Aferição e manutenção dos equipamentos	1
Amarração e nivelamento das réguas	1

	T1	T2	T3
Posto Fluviométrico	4,04	3,25	5,04

4 CONCLUSÕES

Os resultados das simulações efetuadas através da planilha eletrônica e visualizadas na Figura 7 permitem deduzir que no caso do critério *Crisp-Fuzzy* os triângulos resultantes da operação dos números *fuzzy* não se encontram superpostos, seguindo sequencialmente, em ordem crescente do trecho 1 ao trecho 3, com relação à adequabilidade à implantação do posto fluviométrico. Com relação ao critério *Fuzzy-Fuzzy*, o trecho 3 continua sendo o melhor candidato à implantação do posto fluviométrico, porém os triângulos resultantes dos trechos 1 e 2 encontram-se sobrepostos, indicando uma certa nebulosidade quanto a hierarquização entre ambos.

Os resultados da simulação efetuada através do código computacional *Fuzzy Decision Maker™*, visualizada na Figura 11 permitem concluir que o trecho 3 é o mais adequado ao objetivo sendo seguido pelo trecho 1 e por último pelo trecho 2.

Os resultados das simulações efetuadas utilizando-se o modelo COPPETEC-COSENZA permitiram inferir que, com relação aos fatores gerais o trecho 3 apresentou resultado superior em

relação aos demais trechos. No que tange aos fatores específicos os trechos 1 e 3 apresentaram resultado igual e superior ao do trecho 2. Como conclusão pode-se dizer que o trecho 3 é o mais indicado para implantação do posto fluviométrico e que o trecho 2 é o menos indicado para tal.

Com base no exposto podemos constatar que o trecho 3 é o que oferece as melhores condições de atendimento aos fatores de demanda gerais e específicos do projeto em questão.

5 REFERÊNCIAS

- COSENZA, C. A.; 1981. *A Industrial Location Model. Working paper. Martin Center for Architectural and Urban Studies Cambridge University. England.*
- McNEILL, F. M., THRO, E., 1994, *Fuzzy Logic: A Pratical Approach*, United Kingdom Edition published by Academic Press Limited, London, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- McNEILL, F. M.; 1994. *Fuzzy Decision Maker™. Software. Fuzzy Systems Engineering. USA.* <http://www.fuzzysys.com>.
- ORTEGA, N. R. S, 2001, “Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina”, Tese de Doutorado, Instituto de Física, USP, São Paulo, SP.
- TANSCHKEIT, R., 1998, *Fundamentos da Lógica Fuzzy e Controle Fuzzy*, DEE, PUC, Rio de Janeiro, RJ.
- XEXEO, G., 2003, *Conjuntos e Lógica Fuzzy*, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, Arquivo (ppt) do curso “Conjuntos e Lógica Fuzzy”, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- ZADEH, L. A., 1965. *Fuzzy Sets*, “Information and Control”, v. 8, pp. 338-353.
- ZIMMERMAN, H. J., 1991, *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Kluwer.